

**BGGG-GBMS**

Belgische Groepering voor Grondmechanica en Geotechniek  
Groupement Belge de Mécanique des Sols et de la Géotechnique

Studiedag / Journée d'étude 25.04.2007

“Risicobeheer in de Geotechniek – Gestion de Risque en Géotechnique”

**Beschikbare Tools voor risicobeheer in de  
Geotechniek :  
De Observational Method**

*Ir. Noël Huybrechts*  
*WTCB*  
*Afdeling Geotechniek & Structuren*



*Prof. J. Maertens*  
*Jan Maertens bvba & KU Leuven*



## 1. INLEIDING & DEFINITIE

De Observational Method is in feite een op zich zelf staande ontwerpmethodologie voor geotechnische constructies die opgenomen is in de Eurocode 7 (EN 1997-1, 2004). In welbepaalde omstandigheden (bvb. grote onzekerheid m.b.t. geotechnische parameters) kan deze methode aangewend worden om zo economisch mogelijk te bouwen zonder in te boeten op de veiligheid. Monitoring tijdens de uitvoering speelt een essentiële rol in dit verhaal, maar de OM is meer dan meten alleen.

In (CIRIA, 1999) kan men de volgende definitie terugvinden voor de OM :

*“De Observational Method is een continu, gestuurd en geïntegreerd proces van ontwerp-constructiecontrole-monitoring-revisie, waarbij het mogelijk is dat voorafgaandelijk gedefinieerde aanpassingen doorgevoerd kunnen worden tijdens of na de uitvoering van de werken; de monitoringresultaten worden hier dus op een **actieve** manier aangewend. Van al de aspecten die hierbij aan bod komen dient er aangetoond te worden dat ze “**robuust**” zijn (zie later). Het is de bedoeling dat men met deze methode tot meer economische constructies komt zonder in te boeten aan veiligheid.”*

De Observational Method kan slechts succesvol ingezet worden indien

- ontwerp en uitvoering op een geïntegreerde manier benaderd worden
- er een goede samenwerking bestaat tussen de verschillende bouwpartners
- de verschillende bouwpartijen participeren in de mogelijke baten (of eventueel kosten) en dit contractueel afgedekt is,
- de verschillende van belang zijnde factoren onderworpen werden aan een risicobeoordelingsproces

Vandaar dat de methode past in de filosofie van het integrale risicobeheer van projecten, waarbij ze eigenlijk gezien kan worden als een methode om de gevolgen van bepaalde risico's die kunnen optreden op een gecontroleerde manier te reduceren.

De “observational method” wordt in de letterlijke zin van het woord tot op heden slechts zelden toegepast in België. In de meeste gevallen waar monitoring wordt uitgevoerd kan men dat eerder thuisbrengen onder de noemer van de “predefined method”. Dit betekent dat het ontwerp vóór de aanvang van de werken reeds volledig is uitgewerkt, met in dit geval veilige (en vaak ook conservatieve) aannames van een aantal parameters die in het ontwerp aan bod komen. Monitoring wordt in dit geval op een *passieve* manier aangewend om te verifiëren of te controleren of de voorspelde waarden in het ontwerp niet overschreden worden. Bij de predefined method is er geen intentie om het ontwerp en desgevallend de uitvoering bij te sturen op basis van de metingen.

## 2. HISTORIE

De term “Observational Method” werd geïntroduceerd door Peck in 1969 (Peck, 1969). Peck gaat er vanuit dat de volledige toepassing van de Observational Method bestaat uit de 8 ingrediënten die opgesomd zijn in tabel 6.2.1.

Peck identificeert twee situaties waarin de Observational Method aangewend kan worden:

- “ab initio” : toepassing van bij de aanvang van het project
- “best way out” : toepassing gedurende de uitvoering wanneer er zich onverwachte problemen voordoen.

a	Exploration sufficient to establish at least the general nature, pattern and properties of the deposits, but not necessarily in detail.
b	Assessment of the most probable conditions and the most unfavourable conceivable deviations from these conditions. In this assessment geology often plays a major role.
c	Establishment of the design based on a working hypothesis of behaviour anticipated under the most probable conditions.
d	Selection of quantities to be observed as construction proceeds and calculation of their anticipated values on the basis of the working hypothesis.
e	Calculation of values of the same quantities under most unfavourable conditions compatible with the available data concerning the subsurface conditions.
f	Selection in advance of a course of action or modification of design for every foreseeable significant deviation of the observational findings from those predicted on the basis of the working hypothesis.
g	Measurement of quantities to be observed and evaluation of actual conditions.
h	Modification of design to suit actual conditions.

*Tabel .1: De 8 ingrediënten voor de toepassing van de Observational Method volgens Peck (Peck, 1969)*

Vertrekkende van de principes uitgezet door Peck werd de methode in de loop der jaren verder uitgewerkt door diverse auteurs. In de periode tussen 1970 en 1990 werd de observational method dan ook meer en meer erkend en werd het gebruik ervan geïntroduceerd in meerdere geotechnische toepassingsdomeinen.

De laatste jaren lijkt de toepassing van de observational method in een aantal landen in stroomversnelling te geraken (o.a. in het Verenigd Koninkrijk). Dit heeft enerzijds te maken met het feit dat de methode in de Eurocode 7 erkend wordt als één van de ontwerpmethodes. Tabel 2 geeft Hfdst. 2.7 uit de Eurocode 7 (CEN, 2004) weer.

## 2.7 Observational method

(1) When prediction of geotechnical behaviour is difficult, it can be appropriate to apply the approach known as "the observational method", in which the design is reviewed during construction.

(2)P The following requirements shall be met before construction is started:

- acceptable limits of behaviour shall be established;
- the range of possible behaviour shall be assessed and it shall be shown that there is an acceptable probability that the actual behaviour will be within the acceptable limits;
- a plan of monitoring shall be devised, which will reveal whether the actual behaviour lies within the acceptable limits. The monitoring shall make this clear at a sufficiently early stage, and with sufficiently short intervals to allow contingency actions to be undertaken successfully;
- the response time of the instruments and the procedures for analysing the results shall be sufficiently rapid in relation to the possible evolution of the system;
- a plan of contingency actions shall be devised, which may be adopted if the monitoring reveals behaviour outside acceptable limits.

(3)P During construction, the monitoring shall be carried out as planned.

(4)P The results of the monitoring shall be assessed at appropriate stages and the planned contingency actions shall be put into operation if the limits of behaviour are exceeded.

(5)P Monitoring equipment shall either be replaced or extended if it fails to supply reliable data of appropriate type or in sufficient quantity.

*Tabel .2: De Eurocode 7 en de Observational Method (EN 1997-1, 2004)*

Een andere verklarende factor voor het toenemende succes van de Observational Method is de toenemende interesse om de kosten te optimaliseren, de veiligheid te verhogen en/of te verzekeren alsook om de samenwerking tussen diverse bouwpartners te verbeteren.

Hierbij dient echter niet uit het oog verloren te worden dat nationale wetgeving en normatief kader een zeer belangrijke rol spelen in het al of niet toepassen van de methode. Het relatieve succes van de methode in het Verenigd Koninkrijk is met name gekoppeld aan het invoeren van de CDM regelgeving (Construction Design & Management) uit 1994. Het is dan ook niet verwonderlijk dat één van de meest uitgewerkte aanbevelingsdocumenten omtrent de toepassing van de Observational Method zijn oorsprong vindt in het VK: met name het CIRIA Report 185 - "The Observational Method in ground engineering: principles and applications" (CIRIA, 1999).

Andere recente documenten waarin toelichting gegeven wordt bij de Observational Method zijn de volgende:

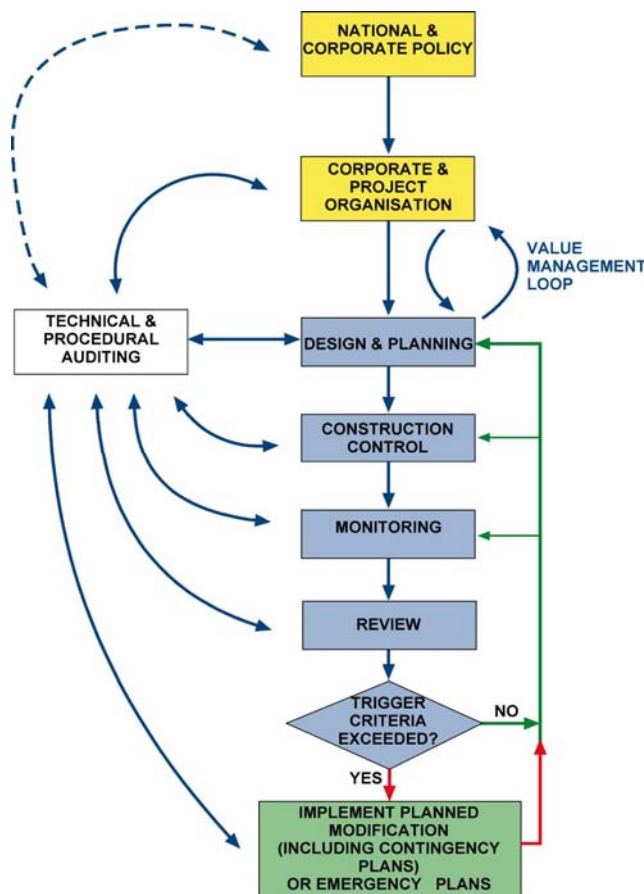
- Designers’ Guide to EN 1997-1 (R. Frank et.al., 2004)
- IREX (2005) : La methode Observationnelle pour le dimensionnement interactif des ouvrages
- DIN (2005): DIN 1054 Verification of the safety of earhworks and foundationins (Hfdst. 4.5)
- CUR (2005) : CUR publicatie 166 – damwandconstructies (4e druk)
- GeoTechNet Project (2001-2005) - WP3 report: Innovative Design Tools in Geotechnics – OM & FEM (editor N. Huybrechts)

Dit laatste rapport met betrekking tot de OM dat recentelijk gepubliceerd werd is het resultaat is van een Europese studie (in het kader van het project GeoTechNet). Dit rapport geeft o.a. aanbevelingen m.b.t. de toepassing van de Observational Method en bevat een 7-tal Europese praktijkvoorbeelden waar de methode werd toegepast. Dit rapport kan integraal gedownload worden op de website <http://www.geotechnet.org> (onder de rubriek WP3 Innovative Design Tools/info).

Een samenvatting van dit rapport m.b.t. de Observational Method zal binnenkort tevens gepubliceerd worden ter gelegenheid van de XIV<sup>th</sup> ECSMGE te Madrid (D. Patel et.al., 2007).

### 3. TOEPASSING VAN DE OBSERVATIONAL METHOD

CIRIA Report 185 stelt de verschillende componenten van de Observational Method voor zoals weergegeven in figuur 1. Daar waar Peck en de Eurocode 7 bijna uitsluitend de technische aspecten benadrukken, plaatst Ciria de toepassing van de Observational Method in een ruimere context. Er wordt met name benadrukt dat de context waarin de methode dient te worden toegepast (op niveau van de overheid inzake regelgeving, het bedrijf, de contracten, ... ) van minstens even groot belang is als de meer technische aspecten. Alle componenten van figuur 1 dienen geïmplementeerd te worden in zowel de “ab initio” als in de “best way out” toepassing



Figuur 1 - De Observational Method (CIRIA, 1999)

#### 3.1 Overheids- en bedrijfsbeleid

Om de Observational Method met succes te implementeren, is het absoluut noodzakelijk dat er geschikte beleidsmaatregelen op punt gesteld worden, zowel op overheids- als op bedrijfsniveau.

Op overheidsniveau betekent dit dat er ontwerpcodes of ontwerprichtlijnen dienen te bestaan die de (correcte) toepassing van de OM omschrijven, dat er terzake aanbevelingsdocumenten bestaan, ...

Op bedrijfsniveau betekent dit dat er OM-georiënteerde contracten dienen te bestaan, dat er kwaliteitsprocedures bestaan, dat het personeel de juiste opleiding krijgt, dat er een politiek van kostenbesparing wordt nageleefd (value management), dat men openstaat voor samenwerking met andere bouwpartners, ...

## 3.2 Bedrijfs- en projectorganisatie

Hiermee bedoelt men het structureren van het bedrijf of het projectteam, waarbij de verantwoordelijkheden en de relaties tussen de verschillende organisaties en/of individuen, die betrokken zijn bij het ontwerp, de uitvoering en de monitoring, vastgelegd worden.

Enkele belangrijke aspecten hierin zijn o.a. competentie, controlemethodes, managementstructuur, communicatie, ...

## 3.3 Design & Planning

Hiermee bedoelt men het verzamelen en interpreteren van data, het identificeren van risico's, het uitvoeren van risico-beoordeling, en het op punt stellen van het ontwerp (inclusief de geplande aanpassingen en de triggercriteria). Bij het op punt stellen van het finale ontwerp worden uiteraard factoren zoals kostprijs, veiligheid en risico's afgewogen.

Achtereenvolgens kan men de volgende activiteiten onderscheiden:

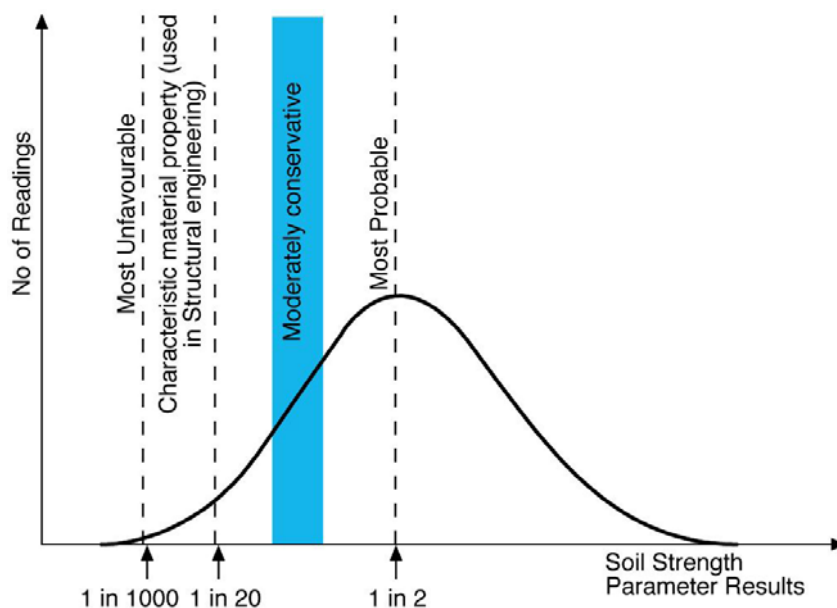
### Haalbaarheidsstudie (Desk study)

Met een haalbaarheidsstudie voor een OM project beoogt men de volgende doelstellingen:

- Kennisvergaring omtrent de site, en bepalen op welke manier en met welke middelen verder onderzoek moet worden uitgevoerd.
- Identificeren van de te verwachten uitvoeringsproblemen en het bepalen van een aantal beschikbare uitvoeringsopties.
- Het vastleggen van de aanvaardbare uiterste grenzen, bvb. de toelaatbare zettingen van de op te richten constructie zelf en/of van gebouwen of constructies in de omgeving. Hierbij is het van belang om over informatie te beschikken over de naastgelegen constructies (funderingswijzen, ouderdom, zettingsgevoeligheid,...). In de loop van het project zal er overleg nodig zijn met de eigenaars van aangrenzende gebouwen.
- Identificeren van geologische risico's en definiëren van de volgende ontwerpcondities (Zie figuur 2):
  - o De meest waarschijnlijke (Most Probable of **MP**)
  - o Een matig conservatieve (Moderately Conservative of **Mod C**)
  - o De meest ongunstige (Most Unfavourable **MU**)

- Het bepalen van de potentiële risico's voor ieder van deze condities en het vastleggen van een aanvaardbaar risiconiveau (=aanvaardbare uiterste grenzen). Ciria Report 185 beveelt hierbij aan dat:
  - o de **MP** en **Mod C** condities te gebruiken voor vervormings en krachtberekeningen in de gebruiksgrenstoestand (SLS)
  - o de **MU** condities te gebruiken voor de uiterste grenstoestand (ULS) en voor het nagaan van het robuust karakter van het ontwerp tijdens de risico-beoordeling.
- Bepalen van de haalbaarheid van de OM, en dit op basis van de grondeigenschappen (bvb. bros gedrag).
- Nagaan of op basis van de gekende informatie de graad van onzekerheid groot genoeg is om de OM toe te passen.
- Op basis van deze studie de haalbaarheid van de verschillende mogelijkheden bepalen (met de predefined method of met de OM) en dit in combinatie met een optimalisering van de kosten (value engineering).
- De kosten-baten analyse van de toepassing van de OM. De OM is vooral in projecten met grote onzekerheden kostenbesparend.

Een belangrijke bron van informatie zijn gelijkaardige constructiegevallen in gelijkaardige grondcondities. Met back-analysis is het dan mogelijk om de meest waarschijnlijke (MP) ontwerpparameters te bepalen.



Figuur2 - MP – Mod C – MU grondweerstandsparemeters (Ciria, 1999)

### Grondonderzoek

Er dient voldoende grondonderzoek uitgevoerd te worden opdat

- de range van geologische condities en grondparameters bepaald kan worden in functie van de specifieke OM vereisten die volgen uit de haalbaarheidsstudie
- de kans op het tegenkomen van onverwachte condities die kritisch zijn voor de veiligheid verwaarloosbaar is (dit is uiteraard niet altijd



mogelijk, specifiek in constructies die zich uitstrekken over grote afstanden en in bepaalde geologische formaties).

Het grondonderzoek dient in elk geval uitgevoerd te worden in overeenstemming met de geldende normen.

Twee strategieën kunnen hierbij gevolgd worden:

- Een gefaseerd grondonderzoek: dit is vooral nuttig op sites waar geen voorafgaandelijke informatie beschikbaar is. Er wordt een initieel grondonderzoek uitgevoerd, op basis van de welke de preliminaire ontwerpen worden gebaseerd. De volgende fasen van het grondonderzoek focussen dan meer op de geotechnische parameters die van belang zijn voor specifieke ontwerpcondities (MP, Mod C, MU)
- Grondonderzoek tijdens de uitvoering: de finale fase van het grondonderzoek wordt in dit geval gepland zodat het parallel met de werkzaamheden kan uitgevoerd worden (bvb. horizontale sonderingen in het tunnelfront). Van belang hierbij is dat er voldoende tijd beschikbaar is voor de verwerking van deze informatie.

#### Data interpretatie

Specifieke informatie van de site wordt herzien en geïnterpreteerd. Hierbij is het de bedoeling om:

- de MP, Mod C en MU condities te bepalen op basis van het grondonderzoek met inbegrip van de stratigrafie, grondwatercondities en de grondweerstandparameters. Meestal is hier back-analysis van gelijkaardige cases nodig om de meest waarschijnlijke parameters (MP) te bepalen voor de voorgesteld analysemethode.
- de geologische risico's en andere onzekerheden te identificeren. Een kritische beoordeling van al de activiteiten tijdens de constructie maakt hier deel van uit. Dit veronderstelt een volledige kennis van de uitvoeringsmethode en -fasering en van de mogelijke bezwijkmechanismen.
- middels een kosten-baten analyse, te beslissen of het haalbaar en kosteneffectief is om de Observational Method te implementeren voor het project (of een deel ervan).

Op het einde van deze fase dient een geotechnisch design rapport opgesteld te worden. Onder andere Eurocode 7 (hfdst. 2.8) specificeert aanbevelingen omtrent de informatie die in een dergelijk rapport opgenomen dienen te worden.

#### Initieel ontwerp

Dit houdt niet alleen de ontwerpberoeeningen in, maar ook de uitvoeringsmethode en –fasering, de gebruikte materialen, de procedures om de geplande aanpassingen en noodplannen te implementeren enz. In deze fase zouden zowel het ontwerp bureau als de aannemer betrokken moeten zijn (indien mogelijk).

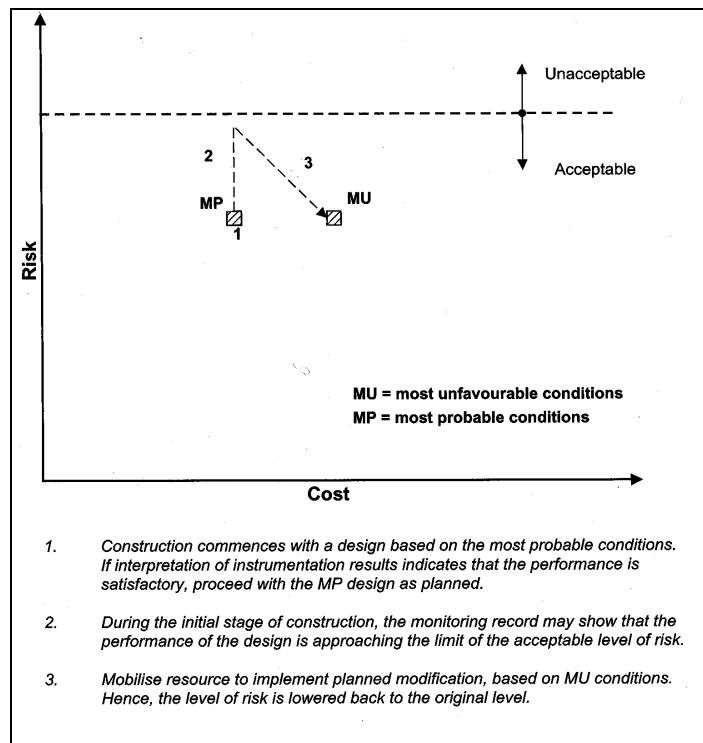
De doelstellingen van deze fase zijn:

- (her)bevestiging van de vereisten en verwachtingen van de opdrachtgever
- met behulp van “value engineering” een aantal opties bepalen

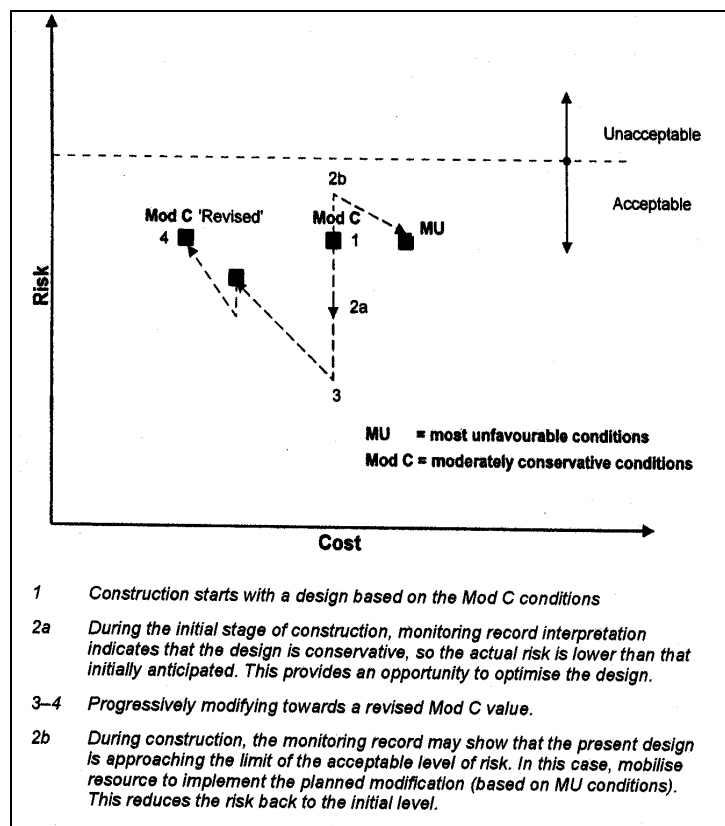
- voor minstens twee sets van ontwerpparameters een voorafgaandelijk ontwerp uitvoeren:
  - o MP en MU, of
  - o Mod c en MU

De ontwerpcases dienen alle mogelijke scenario's te dekken.

- het vastleggen van de procedures om de vooropgestelde aanpassingen te implementeren. Dit kan volgens “Peck's procedure” (zie figuur 3) of volgens de methode van de “progressieve aanpassingen” (zie figuur 4). De eerste methode van Peck wordt door Ciria report 185 alleen aanbevolen indien gelijkaardige praktijkervaringen uit het verleden beschikbaar zijn en indien het gaat om een project dat in verschillende fases wordt uitgevoerd. De tweede progressieve methode wordt in het algemeen aanbevolen door Ciria, en in het bijzonder wanneer het ontwerp- en constructieteam slechts een beperkte ervaring heeft met de Observational Method.
- het vastleggen van de grootheden die gemonitored dienen te worden en het afwegen van opties voor een monitoringschema.
- het optimaliseren van de kosten van de hierboven vermelde ontwerpen, de monitoring en de mogelijke aanpassingen
- het bepalen van de realiseerbaarheid van het ontwerp.
- te beslissen om verder te gaan met hetzij de predefined method (op basis van Mod C aannames) hetzij verder te gaan met het ontwikkelen van de OM.
- te overleggen met de aannemer betreffende de hiervoor gestelde vereisten en het ontwikkelen van een voorlopige overeenkomst van de uitvoeringsmethode(n).
- het volledig in rekening brengen van de regelgeving inzake gezondheid en veiligheid
- Herzien van de risico's en uitvoeren van een risico-beoordeling (risk assessment).



Figuur 3- Implementatie van geplande aanpassingen: Peck's benadering (Peck, 1969)



Figuur 4 - Implementatie van geplande aanpassingen “Progressieve aanpassing” (Ciria, 1999)

### Finale ontwerp

De doelstellingen van deze fase zijn:

- het definiëren van trigger criteria (zie verder) voor de constructie zelf en voor de aangrenzende gebouwen en constructies.
- het opstellen van de finale berekeningen voor de MP, Mod C en MU condities
- bevestigen van de methode voor het implementeren van geplande aanpassingen en noodplannen, en van de strategie voor het mobiliseren van de materialen
- bevestigen dat alle onaanvaardbare risico's (bros gedrag bvb.) geïdentificeerd zijn en dienaangaande de nodige maatregelen genomen zijn
- het op punt stellen van een finale set aan informatie waarvan de kostprijs berekend kan worden en die bijgevolg aanbesteed en uitgevoerd kan worden.

Het is van essentieel belang dat alle elementen in het finale design “*robuust*” zijn. Hiermee bedoelt men dat de kans op bezwijken gedurende de bouw en de levensduur van de te realiseren constructie verwaarloosbaar klein is.

Voor wat betreft de *triggercriteria* die reeds eerder een aantal keren vermeld werden: dit zijn de grenswaarden die vooropgesteld worden. Wanneer deze grenswaarden overschreden worden dienen de geplande aanpassingen geactiveerd te worden.

Deze criteria kunnen verplaatsingen, krachten, of andere grootheden zijn die men afleidt uit de ontwerpberekeningen (of uit empirische procedures) en dit voor de range van condities die overwogen worden in het OM ontwerp. Ze kunnen ook gebaseerd zijn op de grondcondities, de vereisten in de regelgeving inzake gezondheid en veiligheid, vakkundigheid, de snelheid waarmee de constructie gerealiseerd wordt, de kwaliteit van de materialen, ...

Voor de triggercriteria wordt meestal een verkeerslichtensysteem gehanteerd met een groene, oranje en rode zone. Dit wordt geïllustreerd in de figuren 5 en 6.

Bij het implementeren van de trigger criteria dient men in belangrijke mate rekening te houden met de tijd die noodzakelijk is om de geplande aanpassingen te implementeren. De beschikbare tijd wordt in belangrijke mate bepaald door de snelheid waarmee de desbetreffende geobserveerde waarden kunnen variëren. Dit wordt geïllustreerd in figuur 5.

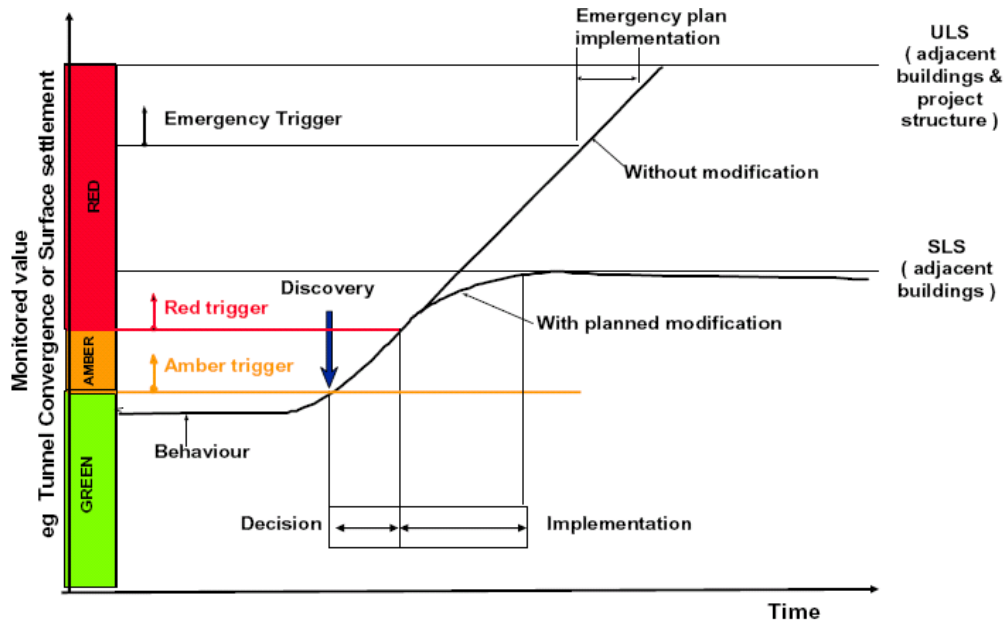
De volgende zones worden beschouwd:

- *Groene zone*  
Uit het monitoring/revisie proces blijkt dat de geobserveerde waarden kleiner zijn dan de oranje triggerwaarde. De constructie bevindt zich in een veilige fase.
- *Oranje zone*  
Men verkeert in oranje zone als de oranje triggerwaarde overschreden wordt. De monitoringfrequentie van het primaire systeem (zie verder) wordt verhoogd. De resultaten van het secundaire systeem (zie verder) worden ook in detail bekeken alsook worden er bijkomende metingen gedaan. Eventueel kunnen er hier al minieme aanpassingen geactiveerd worden. De oranje triggerwaarde wordt bepaald uit afweging van de meest waarschijnlijke ontwerpcondities (MP) en uit de tijd die nodig is om beslissingen te nemen (zie figuur 5)
- *Rode zone*  
Men bereikt de rode zone wanneer de rode triggerwaarde overschreden wordt. Vanaf dat punt worden de geplande aanpassingen geïmplementeerd om te verzekeren dat de relevante (normale) gebruiksgrenstoestand niet overschreden wordt.  
De vervormingen die gepaard gaan met de uiterste grenstoestand (ULS) geven dikwijls nuttige input om de maximumwaarde van de rode zone te bepalen. Eventuele noodplannen dienen hierbij tijdig geactiveerd te worden opdat deze maximumwaarde niet overschreden wordt.

Het bepalen van de triggercriteria is uiteraard project- en omgevingsafhankelijk. Zo zal voor het realiseren van een bouwwerk op een site waar niet direct omgevende gebouwen en constructies aanwezig zijn vooral de gebruiksgrenstoestand van het bouwwerk zelf maatgevend zijn. Voor lagekosten structuren, zoals ophogingen bvb., kan men in dit geval zelfs de uiterste grenstoestand overwegen (zolang er geen risico's zijn voor de mensen op de site en de mogelijke herstellingskosten beperkt zijn).

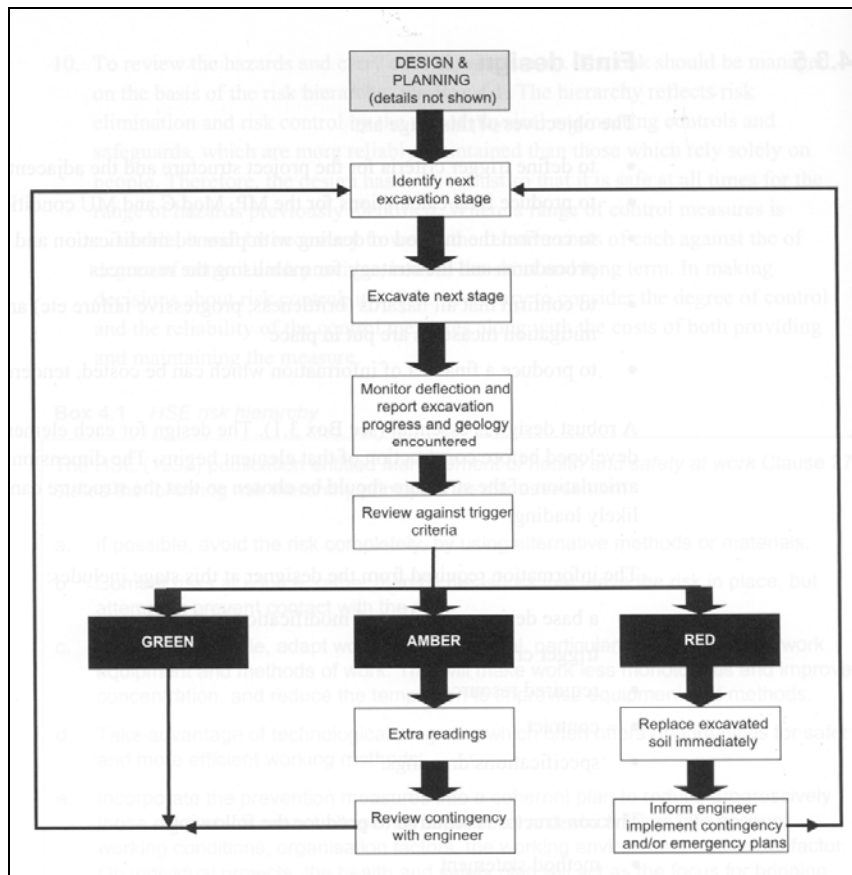
In een bebouwde omgeving daarentegen zal dikwijls de gebruiksgrenstoestand van de structuren in de omgeving maatgevend zijn.

Zoals reeds eerder vermeld is het eveneens van belang om trends in de gemeten waarden en de snelheid waarmee de metingen variëren in de tijd te evalueren.

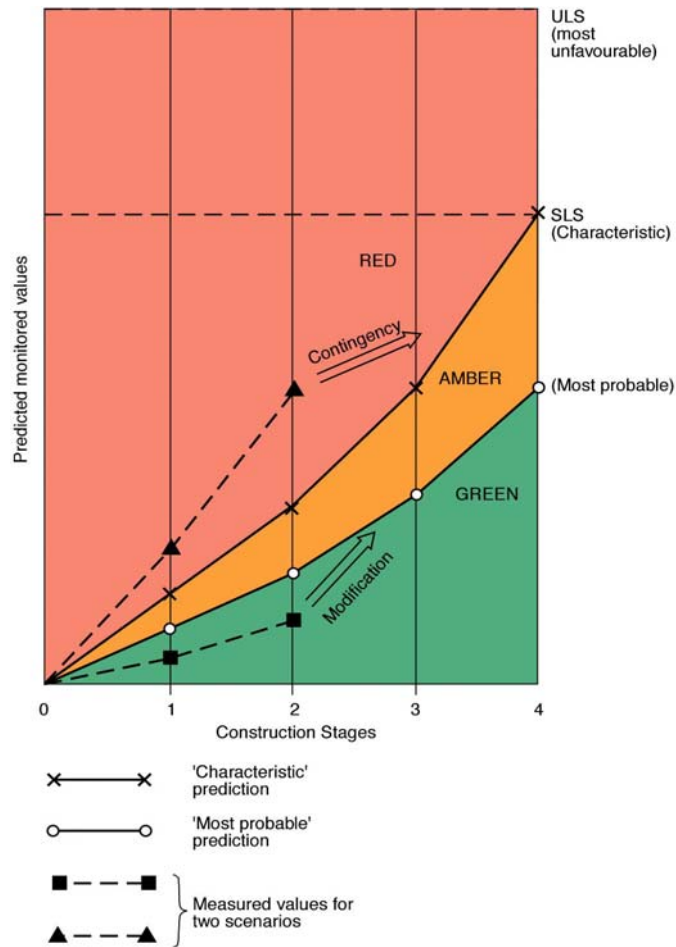


Figuur 5 - Verkeerslichtensysteem in de Observational Method (Ciria, 1999)

De uitvoering omvat vaak meerdere fasen. Voor iedere fase kunnen de triggercriteria dan bepaald worden. Figuren 6a en 6b illustreren dit voor een gefaseerde uitgraving.



Figuur 6a - Verkeerslichtensysteem in de Observational Method voor de verschillende uitvoeringsfasen (Ciria, 1999)



Figuur .6b - Verkeerslichtensysteem in de Observational Method voor de verschillende uitvoeringsfasen (Ciria, 1999)

### 3.4 Controle tijdens de uitvoering & Monitoring

#### Monitoring plan

Het monitoringplan dient zo opgesteld te worden dat het voor de ontwerper mogelijk wordt om voldoende informatie te verkrijgen die het hem mogelijk maakt om het originele ontwerp te valideren en om eventueel de geplande aanpassingen te implementeren.

De bedoeling van het monitoring plan is

- het identificeren van de noodzakelijke observaties
- het definiëren van het instrumentatiesysteem
- het definiëren van controleprocedures van de uitvoering, de rapporteringsmethodes en de frequentie van de monitoring
- het bepalen van de verantwoordelijkheden binnen het projectteam
- het voorzien van duidelijke instructies voor het werfpersonnel
- het bepalen van trends voor de latere vergelijking met of verfijning van het ontwerp

De monitoringschema's dienen hierbij gebaseerd te zijn op een doorgedreven risico-analyse van alle mogelijke bezwijkmechanismen.

Hierbij dient er tevens nagegaan te worden in hoeverre het noodzakelijk is om bepaalde metingen lang op voorhand reeds uit te voeren (bvb. grondwaterstanden).

Het is bovendien van essentieel belang bij het opstellen van een monitoringplan dat het eenvoudig genoeg is zodat het gehanteerd kan worden door het werfpersonnel, en dat de gegevens op een eenvoudige en verstaanbare manier weergegeven worden. Men betreft ook best het werfpersonnel bij het opstellen van het monitoringplan.

In het algemeen wordt er inzake monitoring best met twee niveaus gewerkt.

Het primaire monitoringsysteem dat eenvoudig en robuust is en dat gebruikt kan worden door het werfpersonnel. Dit systeem is direct gekoppeld aan de vastgelegde triggercriteria.

Het secundaire monitoringsysteem, dat gebruikt wordt als back-up en om de performantie van het primaire systeem te verifiëren en/of te verfijnen. Dit systeem wordt belangrijk indien de oranje triggerwaarde overschreden wordt.

#### Uitvoering van de monitoring

De bedoeling van monitoring op de site is het verzamelen van relevante data die vergeleken kunnen worden met de triggercriteria tijdens de revisiefase.

Volgende activiteiten dienen hier ondernomen te worden:

- installatie van de instrumentatie,
- verzamelen van de data
- rapporteren van de resultaten
- noteren van de constructiefase
- noteren van de actuele grondcondities

### **3.5 Revisie & implementatie van de geplande aanpassingen**

De objectieven van deze fase zijn:

- het samenbrengen van alle vereiste informatie
- het vergelijken van de metingen met de vooropgestelde criteria
- het uitvoeren van de geplande aanpassingen of het implementeren van noodplannen.

De frequentie waarmee de monitoring data vergeleken worden met de vooropgestelde criteria dient (op voorhand) bepaald te worden uit de analyse van mogelijke bezwijk- en herstelschema's zodat ongunstige trends en gebeurtenissen tijdig geïdentificeerd kunnen worden. Zulke ongunstige trends kunnen aanleiding geven tot wijzigingen van:

- het ontwerp
- de uitvoeringsmethode en -fasering
- de monitoringmethode
- het management en de kwaliteitscontrole procedures
- het veiligheids- en gezondheidsplan
- de herstel- en noodplannen
- het personeel.



Hierbij zijn de volgende punten nog van belang:

- De monitoringdata dienen verwerkt te worden door ervaren personeel die bekwaam zijn om ongunstige trends tijdig te identificeren en die op de hoogte zijn van de relevante trigger criteria.
- De procedures om de data te interpreteren dienen op voorhand duidelijk vastgelegd te worden om verwarring en vertraging te vermijden wanneer er belangrijke beslissingen genomen dienen te worden. Ook de frequentie van de revisie dient op voorhand overeengekomen te worden.
- Bij deze revisie en interpretatie zijn meestal de verschillende disciplines in het projectteam betrokken. Formele vergaderingen waarbij de verschillende partners (bouwheer, ontwerper, aannemers, materiaalleverancier, ...) betrokken zijn, zijn in dit geval nodig om op een correcte manier beslissingen te sturen.

De procedures om de geplande aanpassingen te implementeren werden reeds eerder aangehaald (De methode van Peck en de methode van progressieve aanpassing, zie respectievelijk figuren 3 en 4). Het tijdig verwerken van de informatie is ook hier cruciaal voor de kwaliteit en de veiligheid van de aanpassingen. De volgende data zijn nodig tijdens de review:

- de actuele grondeigenschappen in vergelijking met de voorspelde (op basis van bvb. vaststellingen tijdens de uitvoering, nieuw grondonderzoek, ...)
- de vooruitgang van de uitvoering in vergelijking met de geplande vooruitgang
- de gemeten waarden versus berekende waarden en triggerwaarden
- interpretatie van de data, inclusief trends

Ook hier geldt dat een zo vroeg mogelijke detectie noodzakelijk is om zo efficiënt mogelijk de aanpassingen door te voeren. Dit betekent dat er een proactieve manier van monitoring dient uitgevoerd te worden waarbij op regelmatige tijdstippen betrouwbare en eenvoudig interpreteerbare data vergaard worden, die vervolgens kritisch onderzocht worden door competent personeel die hun conclusies doorgeven aan het geschikte management niveau.

Vermits het doorvoeren van aanpassingen vereist dat er beslissingen en acties ondernomen worden, is een managementstructuur die een minimale tijd nodig heeft om beslissingen te nemen en actieplannen te implementeren van cruciaal belang om het risiconiveau onder controle te houden.

### **3.6 Technische en procedurele audit**

Omdat zoals bij alle andere controlesystemen er een risico bestaat dat de aandacht verzwakt met de tijd dienen de Observational Method procedures regelmatig geauditeerd te worden. De frequentie van dergelijke audits dient overeengekomen te worden tussen de verschillende partners.

Twee aspecten van de Observational Method dienen geauditeerd te worden:

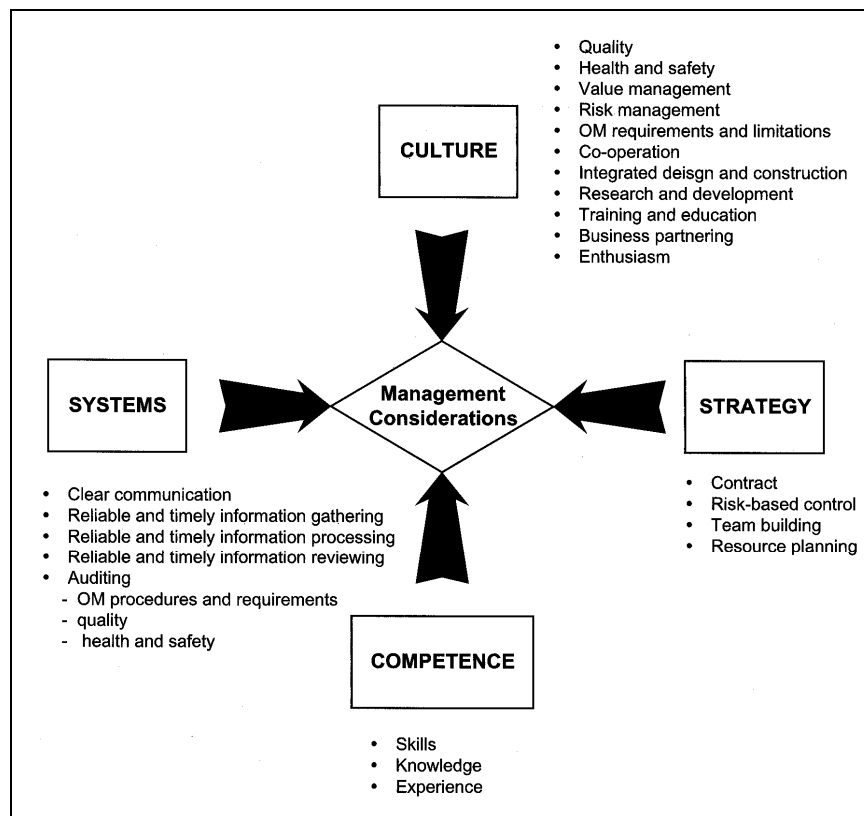
- de technische aspecten (ontwerp, vakbekwaamheid, kwaliteit van de data;...)
- de procedures (de manier waarop dewerkzaamheden uitgevoerd worden)

Dergelijke audits kunnen hetzij intern hetzij door een derde partij uitgevoerd worden.

### 3.7 Andere aspecten

Naast de in het vorige hoofdstuk aangehaalde aspecten van de Observational Method zijn er nog twee belangrijke aspecten waarmee rekening gehouden moet worden, met name het Management en het Contractuele kader.

Een goede management structuur is van groot belang om een Observational Method project te laten slagen. In vergelijking met de predefined method is er immers een veel grotere interactie tussen de ontwerpers en de uitvoerders. Deze interactie noodzaakt sturing en coördinatie. Een aantal aspecten inzake management die additioneel zijn t.o.v. de predifened method kunnen ondergebracht worden in vier categoriën, met name Cultuur, Strategie, Competentie, en Systemen. Figuur 7 vat deze aspecten samen.



Figuur 7 - Management aspecten (Ciria, 1999)

Tenslotte speelt het contractuele kader een belangrijke rol in de mogelijkheid tot implementeren van de Observational Method.

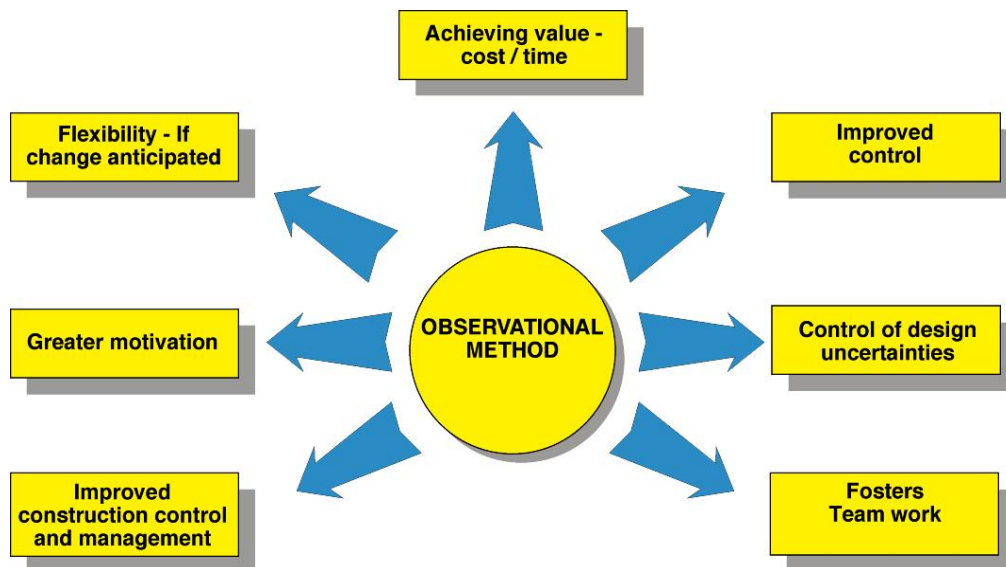
Uit ervaring blijkt dat de OM methode vooral goed kan functioneren in design & construct contractvormen.

Voor meer details omtrent het functioneren van de OM onder deze en andere contractvormen wordt er verwezen naar Ciria report 185.

#### 4. VOORDELEN & BEPERKINGEN VAN DE OBSERVATIONAL METHOD

De observational method biedt het potentieel om enerzijds tijd en geld te besparen, en anderzijds kan men met de monitoring de gewenste veiligheid garanderen. Samen met nog een aantal andere voordelen die de methode biedt wordt dit geïllustreerd in figuur 8.

Het (eventueel) financiële gewin dat de toepassing van de methode oplevert kan verdeeld worden tussen de verschillende partijen (bouwheer, aannemer, ontwerper) en wordt best vastgelegd in de contractuele clausules.



Figuur 8 - Een aantal voordelen van de Observational Method

Niet in alle gevallen is het echter mogelijk om de Observational Method toe te passen, met name

- in situaties waar er onvoldoende tijd beschikbaar is om de geplande aanpassingen en/of noodplannen te implementeren
- waar het onmogelijk of zeer moeilijk is om betrouwbare meetgegevens te verwerven.

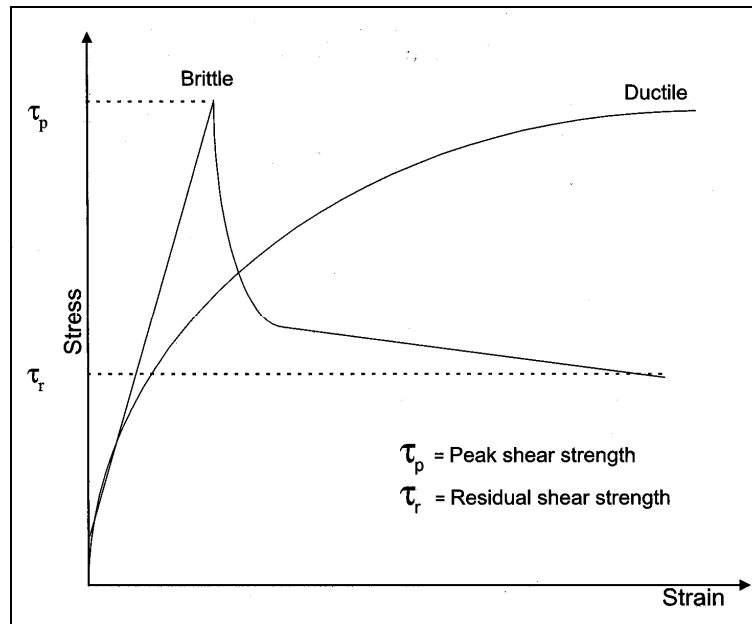
De OM werkt het meest efficiënt wanneer de te controleren grootheden (vervormingen, krachten, ...) gradueel evolueren naar hun grenstoestanden. Dit schept de ruimte (in tijd) om de monitoringdata te herzien, de nodige beslissingen te nemen en de geplande aanpassingen door te voeren.

Hoe groter de snelheid waarmee dergelijke grootheden variëren, hoe strenger de vereisten worden om de OM toe te passen.

De snelheid waarmee een grootheid evolueert hangt (naast de kwaliteitsprocedures, de kwaliteit van het materiaal en het vakmanschap) af van:

- *De grondgesteldheid*

Vooral indien de grond een bros spannings-vervormingsgedrag vertoont (zie figuur 9) dient men uiterst voorzichtig te werk te gaan.



Figuur 9 – Bros en Ductiel gedrag

- *de grondwatercondities*  
Een snellere verslechtering van de toestand kan eveneens veroorzaakt worden door het plots ontstaan van grote poriënwaterdrukspanningen. Deze kunnen veroorzaakt worden door (zware) regenval, liquefactie, door beschadigingen in leidingen van de waterdistributie, rioleringen, ...
- *Tijdelijke overlasten*  
Door tijdelijke nevenbelastingen kunnen op een snelle manier onverwachts grote krachten uitgeoefend worden op een structuur.
- *Fasering van de uitvoering*  
Door het toepassen van bvb. een gefaseerd of incrementeel uitvoeringsproces, kan de snelheid waarmee een toestand varieert onder controle gehouden worden.

## 5. PRAKTIJKVOORBEELDEN

In het kader van het Europese project GeoTechNet werden een 7-tal Europese praktijkvoorbeelden verzameld en uitgewerkt in een vast formaat. De meeste van deze gevallen zijn “ab-initio” toepassingen van de OM, behalve voor de cases “Den Haag tramtunnel” en “the Southwark Station tunnel” die “Best way out” voorbeelden zijn. Deze voorbeelden zijn succesverhalen en werden verzameld om de voordelen die de OM in termen van tijd en geld kan bieden te illustreren. In een aantal gevallen wordt er ook dieper ingegaan op contractuele aspecten (vooral in de voorbeelden uit het VK). De volgende voorbeelden werden uitgewerkt:

- *Twee voorbeelden van grondkerende constructies (deep basements) in klei : Fenchurch Station & Plantation Place, UK, allebei uitgewerkt door Arup Geotechnics;*
- *Uitgraving (Road Cutting) : Batheaston-Swainswick Bypass, UK, uitgewerkt door Arup Geotechnics;*
- *Spoorweginfrastructuur – De Betuweroute : sectie Sliedrecht – Gorinchem, Nederland, uitgewerkt door Geodelft;*
- *Tunnels : Compensation grouting (Southwark Station), uitgewerkt door Arup Geotechnics en Soletanche Bachy*
- *Bemalingen – The Hague “Tramtunnel” uitgewerkt door Geodelft*
- *Hergebruik van bestaande paalfunderingen (Re-use of existing piles), Belgrave House, London uitgewerkt door Whitby Bird, UK*

Deze OM praktijkvoorbeelden zijn integraal opgenomen in een rapport met betrekking tot de OM dat recentelijk gepubliceerd werd en dat het resultaat is van een Europese studie (in het kader van het project GeoTechNet). Dit rapport kan gedownload worden op de website <http://www.geotechnet.org> (onder de rubriek WP3 Innovative Design Tools/info).

## 6. CONCLUSIES

Het toepassen van de Observational Method is de laatste jaren in een aantal landen in een stroomversnelling gekomen. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat de OM als één van de ontwerpmethodes aangegeven wordt in de finale versie van de Eurocode 7.

Er werd in deze bijdrage aangegeven dat niet alleen technische aspecten van belang zijn bij het toepassen van de OM, maar ook andere aspecten zoals de omgeving waarin de methode dient te functioneren (o.a. het contractuele kader)

Er wordt verwacht dat de OM steeds meer ingang zal vinden in de toekomst, omdat

- het een geschikte methode is om de (gevolgen van) risico's te controleren, des te meer wanneer de onzekerheden groot zijn,
- deze methode past in een integraal (expliciet) risicobeheer bij projecten en men o.w.v. tal van factoren (zie Bauduin, 2007) een toenemende tendens ziet om hiertoe over te gaan,
- de methode in een aantal gevallen de meest aangewezen methode is om tot de meest economische oplossing te komen
- er op het vlak van de instrumentatie en communicatietechnologie een enorme evolutie heeft plaatsgevonden en nog zal plaatsvinden die de toepassing van de methode moet bevorderen.
- ...

Om dit te ondersteunen is het echter noodzakelijk om in de toekomst

- aanbevelingsdocumenten op punt te stellen voor de toepassing van de methode;
- tot een meer gestructureerde samenwerking te komen tussen de verschillende partijen (bouwheer - ontwerper – aannemer)
- de verschillende partijen te stimuleren om de OM te implementeren. Dit kan enkel succes hebben als zowel de risico's als de financiële opbrengsten gerelateerd aan de toepassing van de methode op een faire manier verdeeld worden tussen de verschillende partijen
- een contractueel kader te scheppen waarin de OM kan functioneren. Dit is van essentieel belang om het voorgaande punt te realiseren.

In elk geval is een belangrijke (voorbeeld)rol weggelegd voor o.a. de opdrachtgevers.

Bovendien kan men aannemen dat succesvolle OM-praktijkvoorbeelden een stimulans zullen zijn voor het toepassen van de methode.

## **Referenties**

Bauduin, C. 2007. Risicobeheer in de Geotechniek : Een overzicht. Proceedings van de BGGG-Studiedag “Risicobeheer in de geotechniek”, 25 April 2007, Brussel.

CEN, 2004. EN 1997-1 – Eurocode 7 : Geotechnical Design – Part 1 : General rules

CIRIA, 1999. CIRIA Report 185 : “The Observational Method in ground engineering: principles and applications”.

CUR 2005. CUR publicatie 166 – damwandconstructies (4e druk)

DIN, 2005. DIN 1054 Verification of the safety of earthworks and foundations (Hfdst. 4.5)

Frank, R., Bauduin, C., Driscoll, R., Kavvas, M., Krebs Ovesen, N., Orr, T. & Shuppener, B. Designers’ guide to EN-1997-I Eurocode 7: geotechnical design-general rules, Thomas Telford, London, 2004

IREX, 2005. La methode Observationnelle pour le dimensionnement interactif des ouvrages, Presses de l’école nationale des Ponts et Chaussées

Patel, D., Nicholson, D., Huybrechts, N. & Maertens, J. The Observational Method in Geotechnics. Proceedings of the XIV<sup>th</sup> ECSMGE, Madrid, September 2007.

Peck, R.B. 1969. Advantages and limitations of the Observational Method in applied soil mechanics, Géotechnique, 19 (2), pp 171-187

GeoTechNet Project (2001-2005) GTC2-2000-33033, WP3 : Innovative Design Tools in Geotechnics – Observational Method and Finite Element Method, editor N. Huybrechts, BBRI. Document beschikbaar op <http://www.geotechnet.org>