

# Classificatie van wegdekken aan de hand van een mobiele gonio-reflectometer

LAURENT MAGHE

Research for Technology

## Samenvatting

*Een goede kennis van de eigenschappen van een wegdek kan leiden tot betere verlichtingsinstallaties en belangrijke kostenbesparingen. Het is uiterst belangrijk om deze karakteristieken te kennen om de verlichtingsniveaus van wegverlichting goed in te schatten. Vele parameters kunnen beïnvloed worden door het “gedrag” van het wegdek: Het ontwerp van de installatie, de keuze van optische systemen met betrekking tot het type lichtverdeling, en de hoeveelheid licht nodig om een gewenst luminantieniveau te realiseren. De eigenschappen van de reflectie van het wegoppervlak zijn het startpunt voor het ontwerp van een geoptimaliseerde lichtinstallatie. Op dit vlak kan veel vooruitgang geboekt worden, vooral wanneer men on site deze parameters gaat bestuderen.*

## Résumé

*Une bonne connaissance des caractéristiques du revêtement de la route permet d'accroître la qualité des installations d'éclairage mais également de réduire les coûts. Il est important de connaître très précisément les propriétés de réflexion d'un revêtement routier afin d'estimer les niveaux de luminance de l'éclairage routier. Beaucoup de paramètres peuvent être influencés par le “comportement” des routes, tels le design de l'installation, le choix du système optique qui détermine la distribution de la lumière et la quantité de lumière nécessaire pour atteindre le niveau de luminance souhaité. Les caractéristiques de réflexion du revêtement routier sont le point de départ pour la conception d'une installation d'éclairage optimum. Beaucoup de progrès peuvent être apportés dans ce domaine, particulièrement en mesurant ces paramètres directement sur site.*

..

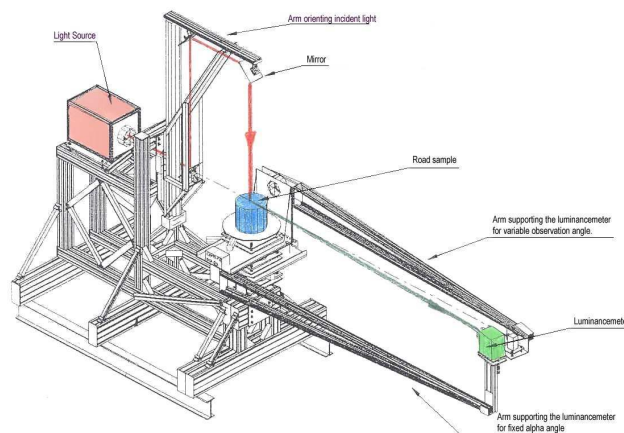
## 1. Inleiding

Om een verlichtingsinstallatie te ontwerpen en haar luminantieniveau te optimaliseren, dienen de lichtingenieurs de luminantieniveaus van de weg te kunnen voorspellen. Om dit te kunnen doen, moet men met verschillende parameters rekening houden: de lichtverdeling die over het algemeen goed gekend is en door de fabrikanten van verlichtingstoestellen opgegeven is, de lichtstroom van de lamp, de geometrie van de configuratie (breedte van de weg, hoogte van de installatie, enzovoort) en de eigenschappen van het wegdek.

Al deze parameters zijn meestal goed gekend, behalve één: de eigenschappen van het wegdekoppervlak.

Meestal worden lichtberekeningen gerealiseerd door gespecialiseerde softwareprogramma's en door gebruik te maken van theoretische wegdekcategoryën: bijvoorbeeld R1, R2, R3 en R4 gedefinieerd door de CIE. Slechts vier R-tabellen om zoveel verschillende wegdekoppervlaktes te catalogeren is niet genoeg, het zou interessant zijn om er meer te hebben...

Sinds vele jaren is de Schröder Group pionier in dit vakgebied en beschikt dan ook over de instrumenten om de eigenschappen van een wegdek te meten dankzij haar gonio-reflectometer (zie fig. 1).



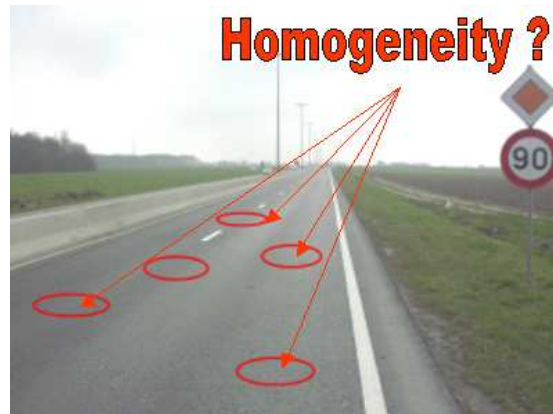
Figuur 1 : R-Tech vierhoeks gonio-reflectometer

Dit toestel kan de karakteristieken van het wegdek meten onder ofwel een hoek van  $1^\circ$  ( $\alpha=1^\circ$ : specifieke kijkrichting voor een autobestuurde r) ofwel onder andere observatiehoeken ( $\alpha$  tot  $90^\circ$ ) meer toegepast voor het meten van wandeigenschappen van bijvoorbeeld tunnels. Om zo'n meting uit te voeren, dient men eerst een staal van het wegdek te nemen (diameter van 100 mm tot 200 mm) dat dan in het laboratorium bestudeerd wordt.

De R-tabel die de reflectie-eigenschappen van het wegdek beschrijft, wordt in de berekeningssoftware ingevoerd die op zijn beurt de luminantie zo goed mogelijk voorspelt.

Niettemin, vraagt het nemen van wegdekstalen tijd en geld, en meestal worden slechts 2 of 3 stalen genomen en gemeten. De fundamentele vraag is: zijn deze 2 of 3 stalen representatief voor de hele weg wetende dat deze laatste nooit perfect homogeen is?

Natuurlijk is dit niet representatief voor het hele wegdekoppervlak en daarom zullen de berekende verlichtingsniveaus niet perfect representatief zijn voor de realiteit.



Figuur 2: Homogeniteit van een wegdek

Om dit euvel te verhelpen, kan men het aantal gemeten stalen vergroten en met gemiddelde wegdekkarakteristieken werken. Maar zoals reeds eerder gezegd, vraagt dit een grote investering!

De oplossing voor dit probleem is de mogelijkheid om on site de metingen te kunnen uitvoeren met een mobiel toestel. Daarom lanceerde Schröder het onderzoek naar een "mobiele gonio-reflectometer". Deze werkwijze zal ons zonder twijfel minder precieze resultaten opleveren dan die, die uitgevoerd zijn met de gonio-reflectometer in het laboratorium. Maar, dankzij de mogelijke verveelvoudiging van de metingen, zal het globale resultaat ongetwijfeld meer representatief zijn.

Door een betere kennis van de wegdekkarakteristieken en door dit te associëren aan een geoptimaliseerd lichtontwerp, en door uiteindelijk gebruik te maken van de nieuwste dimmingtechnologieën, zal deze toepassing de eindgebruiker de juiste hoeveelheid licht opleveren: het juiste licht.

Wanneer we de juiste hoeveelheid energie gebruiken, zal dit bijgevolg belangrijke energiebesparingen opleveren en onze ecologische voetafdruk verkleinen.

Om in dit ambitieuze project te doen slagen, heeft R-Tech (het technologisch centrum van de Schröder Groep) in 2002 een 4 jaar durend onderzoeksproject in samenwerking met de Universiteit van Luik (ULG) opgestart.

In de volgende paragrafen beschrijven we het principe en de hoofdeigenschappen van deze mobiele gonio-reflectometer, de verkregen resultaten van het gebruik on site, een vergelijking van de resultaten verkregen aan de hand van de laboratorium gonio-reflectometer, en de verschillende bestudeerde werkwijzen om de opgemeten data te gebruiken.

## 2. Belangrijkste karakteristieken en eigenschappen van de mobiele gonio-reflectometer

Het mobiele toestel laat ons toe om op een gemakkelijke manier de reflectie-eigenschappen van een wegdek te meten. Vele verschillende combinaties van observatiehoeken kunnen in een aaneenschakeling van metingen opgenomen worden (tot 576 combinaties!). Voor elk van deze hoeken wordt onmiddellijk een reflectiecoëfficiënt berekend zonder enige voorgaande ijking on site.

Het hele systeem (verzameling en grafische weergave van de gegevens, en analyse) is volledig geautomatiseerd dankzij een gebruiksvriendelijke software. Voor een meting on site, kan een laptop alle metingprocessen en dataverzameling besturen. Een volledig meeting on site (576 waarden) duurt 4-5 minuten. Het hele systeem werkt op batterijen.

### 2.1. Lichtbronnen

De lichtbronnen zijn zo ontworpen dat de verlichte zone ( $\rightarrow$  100 mm) op de grond dezelfde is voor elke invalshoek. Elke lichtbron is hiervoor samengesteld uit een lensstelsel om dit te kunnen realiseren (zie fig. 3).



Figuur 3: Invalshoeken

### 2.2. Meetcellen

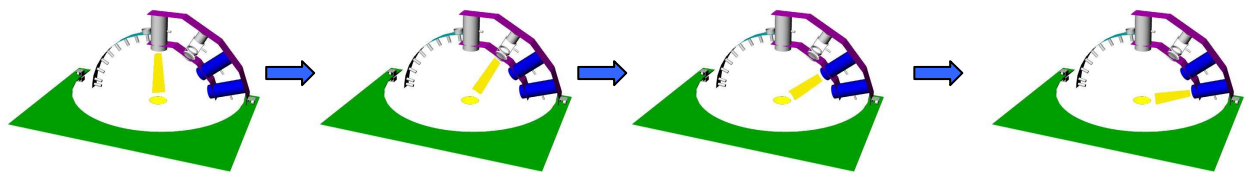
Eens het wegdek correct en uniform verlicht is, dient de hoeveelheid gereflecteerd licht gemeten te worden. De tweede arm –de observatiearm genoemd- is uitgerust met negen lichtcellen die deze taak vervullen. Elk van de lichtcellen is voorzien van een smal en gekalibreerd zwart buisje dat eigenlijk een erg vereenvoudigde luminantiemeter is (zie fig. 4).



Figuur 4: Observatiehoeken

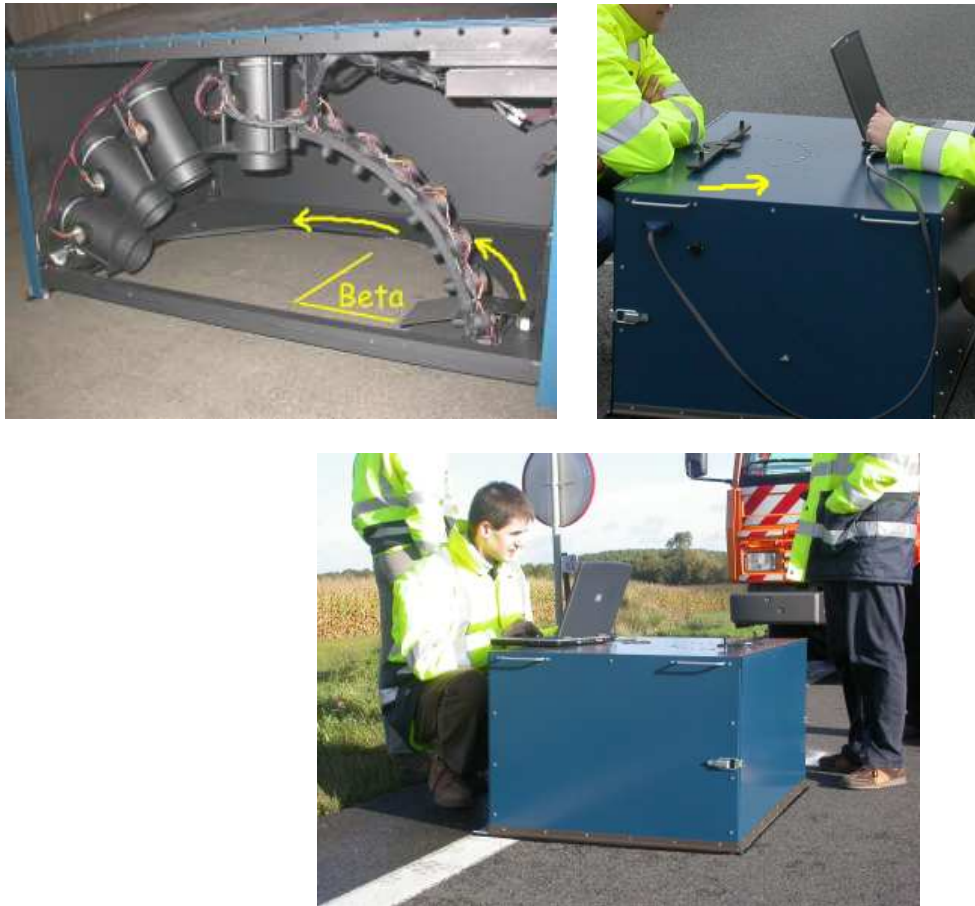
### 2.3 Meetprocedure in de praktijk

De 4 lichtbronnen worden achtereenvolgens aan- en uitgeschakeld. De weerkaatste lichtstraal wordt door de meetcellen opgemeten. Alle metingen worden bijna onmiddellijk gedaan (zie fig. 5).



Figuur 5: Meetprocedure

Eens een meting voor de  $\beta$ -hoek  $0^\circ$  uitgevoerd is, moet de observatiearm verplaatst worden (op heden manueel, maar hier wordt aan gewerkt...). Daarna kunnen de volgende  $\beta$ -waarden gemeten worden. Het toestel kan  $\beta$ -hoeken van  $0^\circ$  tot  $150^\circ$  meten (zie fig. 6).



Figuur 6: Gebruik van de mobiele gonio-reflectometer on site

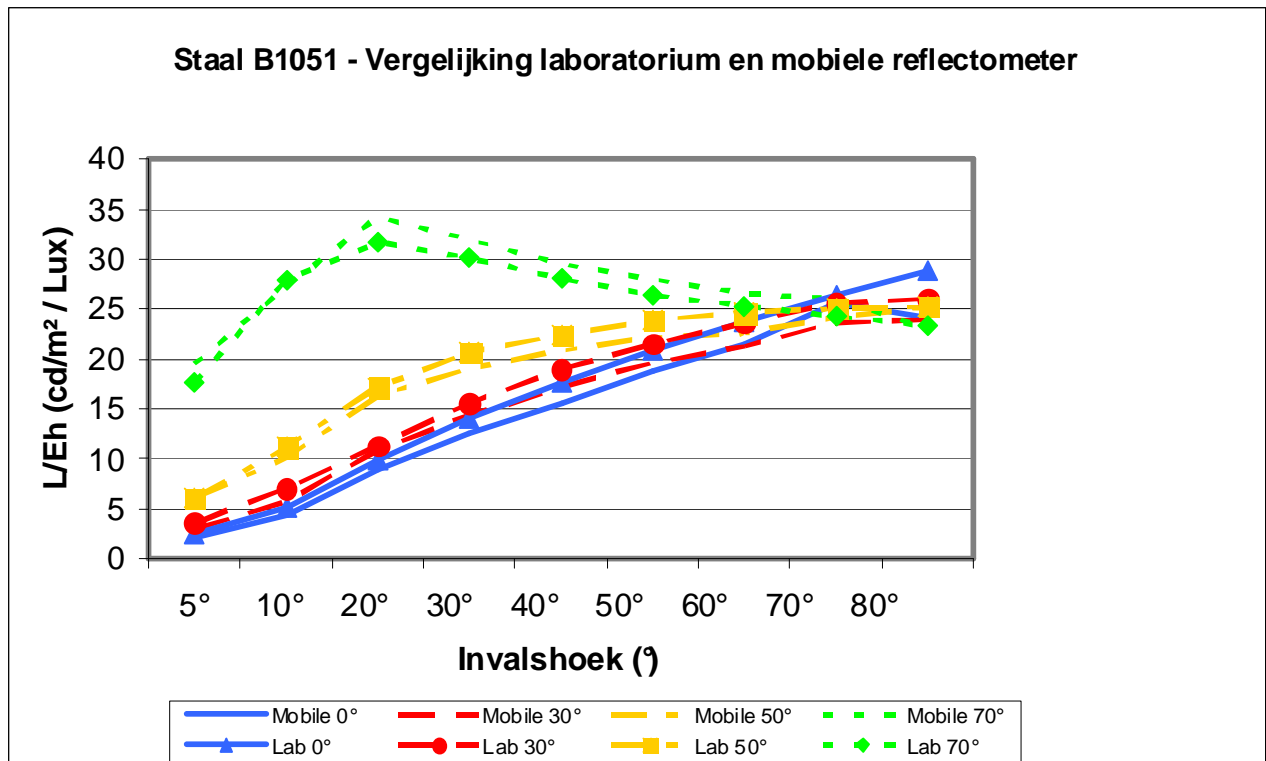
Het toestel is vrij compact en kan gemakkelijk in de wagen getransporteerd worden.

### 3. Validering van het toestel en vergelijking met de laboratorium gonio-reflectometer

Om het concept en het toestel te kunnen valideren, werden metingen met de mobiele gonio-reflectometer on site uitgevoerd. Parallel met deze metingen werden stalen van het wegdek (op exact dezelfde plaats als waar de metingen met het mobiele toestel werden uitgevoerd) genomen en door de laboratorium gonio-reflectometer onderzocht met dezelfde observatie-invalshoeken.

Toen beide resultaten beschikbaar waren (zowel van het mobiele als van het laboratorium systeem), was het mogelijk om een vergelijking te maken.

De resultaten zijn uitstekend zoals getoond in het voorbeeld in grafiek 1.



Grafiek 1: Vergelijking resultaten mobiele en laboratorium gonio-reflectometer

#### 4. Verschillende manieren om de gemeten data te gebruiken

Het systeem, zoals het ontworpen is, geeft ons data die de reflectieeigenschappen van het wegdek beschrijft. Maar, deze gegevens vertegenwoordigen geen R-tabel omdat we slechts vier invalshoeken meten. De meeste observatiehoeken zijn groter van 1°. Het is immers mechanisch en geometrisch niet mogelijk om een lichtcel te plaatsen, die de lichtreflectie onder een invalshoek van 1° met de gewenste nauwkeurigheid meet.

Daarom moeten we een oplossing ontwikkelen om de luminantieniveaus aan de hand van de gemeten data te kunnen inschatten.

Om dit te kunnen bewerkstelligen, hebben we drie uitgangspunten gevolgd:

1. Vergelijking van metingen
2. Inschatting van het luminantieniveau van twee parameters (helderheid en reflectie)
3. Mathematisch model van de R-tabel aan de hand van een beperkt aantal opmetingen

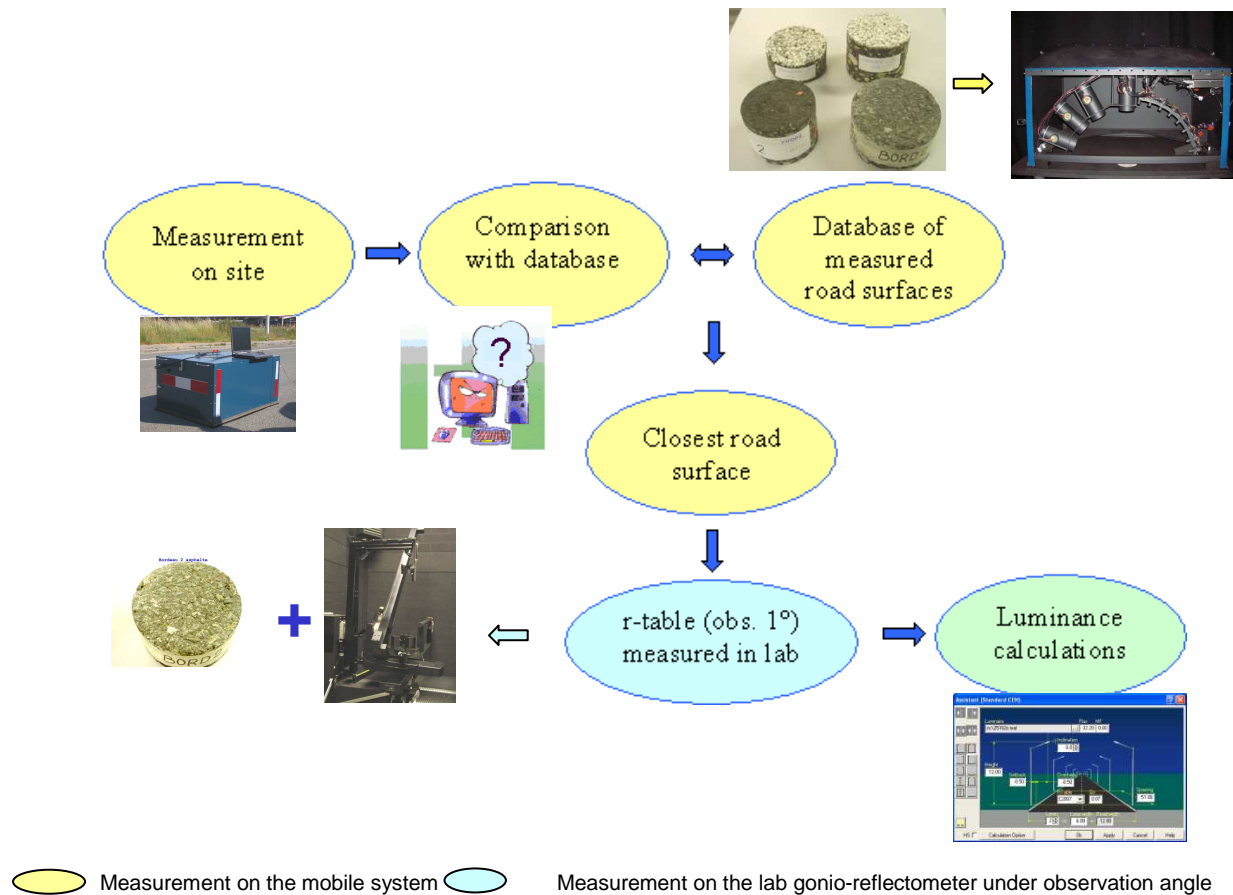
##### 4.1 Vergelijking van metingen

Het principe van deze methode:

Nadat men on site de wegdekeigenschappen gemeten heeft, vergelijkt men de verzamelde data met alle metingen (gerealiseerd met het mobiele systeem) in de database. Door deze

data te vergelijken, is het mogelijk om aan de hand van de kleinste kwadraten methode het wegdekoppervlak in de database te definiëren die het meest aansluit bij de reflectiekaracteristieken van het bestudeerde wegdek.

Wanneer het wegdektype gedefinieerd is, kunnen we de R-tabel (gemeten door de laboratorium gonio-reflectometer) in de software gebruiken om de luminantie en de uniformiteitniveaus te voorspellen (zie fig. 7).

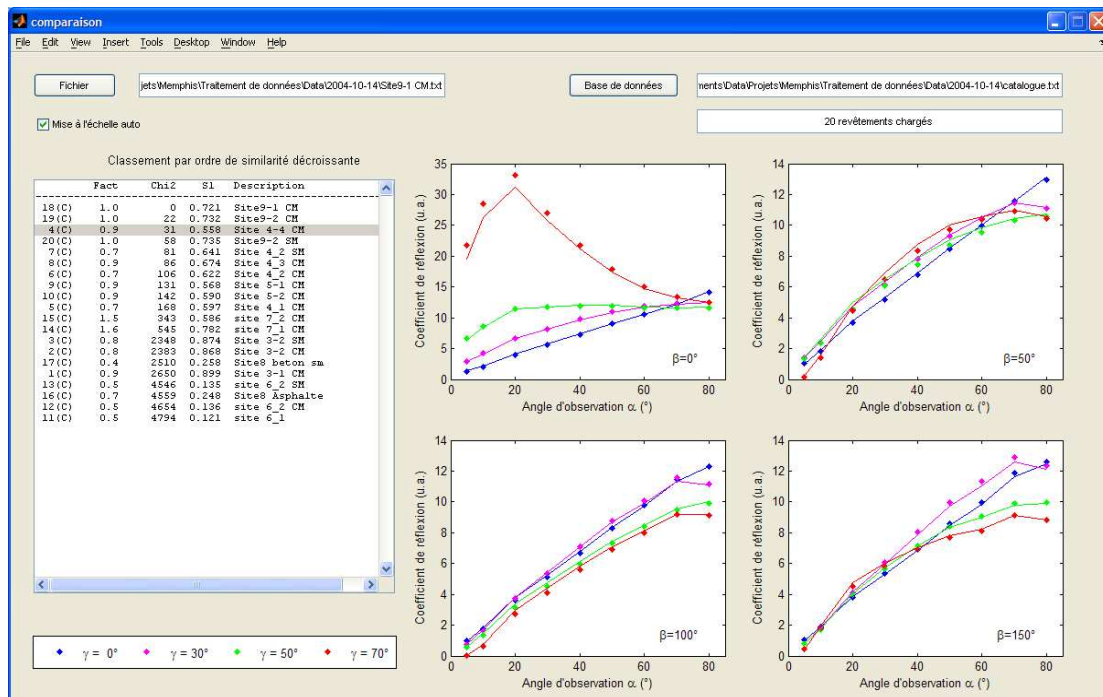


Figuur 7 : Principe van de vergelijkingsmethode

De nauwkeurigheid van deze methode hangt uiteraard voornamelijk af van de grootte van de database. Schröder neemt reeds 20 jaar lang wegdekstalen, en de database van R-tabellen is erg uitgebreid (meer dan 500 gemeten stalen).

Een gebruiksvriendelijke software werd ontwikkeld om deze vergelijkingen snel en gemakkelijk uit te voeren. Het resultaat is een selectie van wegdekken in onze database die het steel het meest benaderen (zie fig. 8).





Figuur 8 : Vergelijkingssoftware

#### 4.1.1 Validering on site

Het is uiteraard belangrijk om theorieën en ideeën te ontwikkelen, maar we moeten deze ook on site valideren. Sinds oktober 2004 is Schröder met een reeks metingen on site gestart om de theorieën te toetsen. Dit metingproces is nog steeds aan de gang...

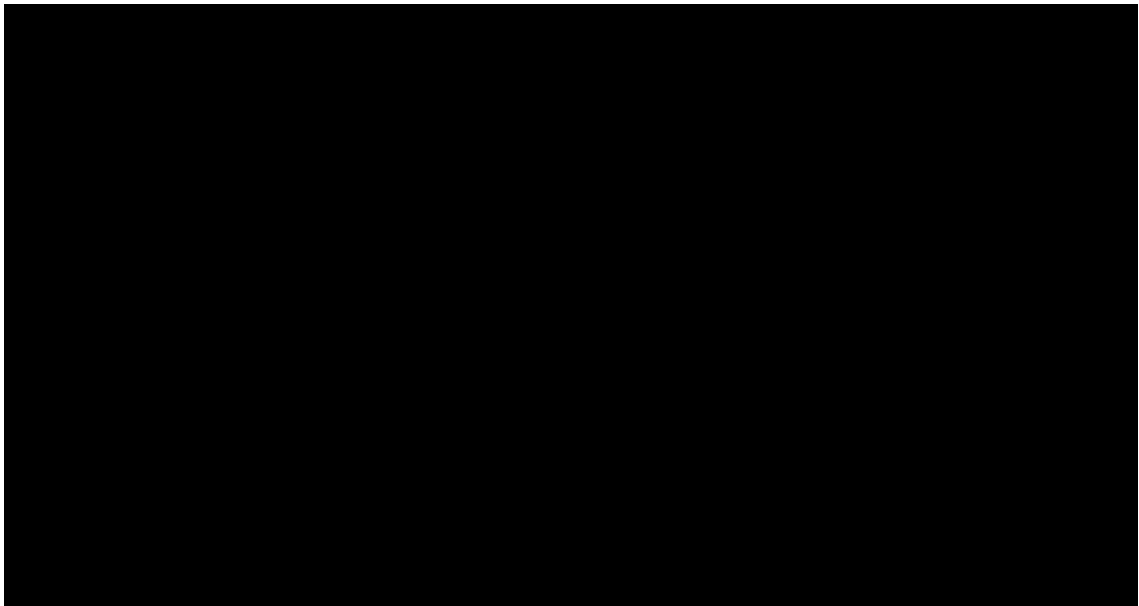
Men is als volgt te werk gegaan:

- Metingen on site met de mobiele gonio-reflectometer → 56 metingen
- Nemen van wegdekstalen (in samenwerking met de Belgische autoriteiten) → 47 stalen
- Metingen van deze wegdekstalen met de laboratorium reflectometer → 74 metingen
- Meting van de verlichting en luminantie op elke site → 18 sites
- Voor sommige testsites werden ook nieuwe optieken geïnstalleerd. Deze zijn allemaal gemeten door de gonio-fotometriemeter van R-Tech. Zo kan men de validering met verschillende lichtverdelingen realiseren (breedstralend, cut-off, enzovoort), en beheert men alle parameters (men kent de lamp flux, de lichtverdeling, de wegdekarakteristieken via de laboratorium en mobiele reflectometer, ...).
- Laatste stap is het vergelijken van de resultaten van de voorspelde luminantieniveaus (d.m.v. berekening) en de meting on site.

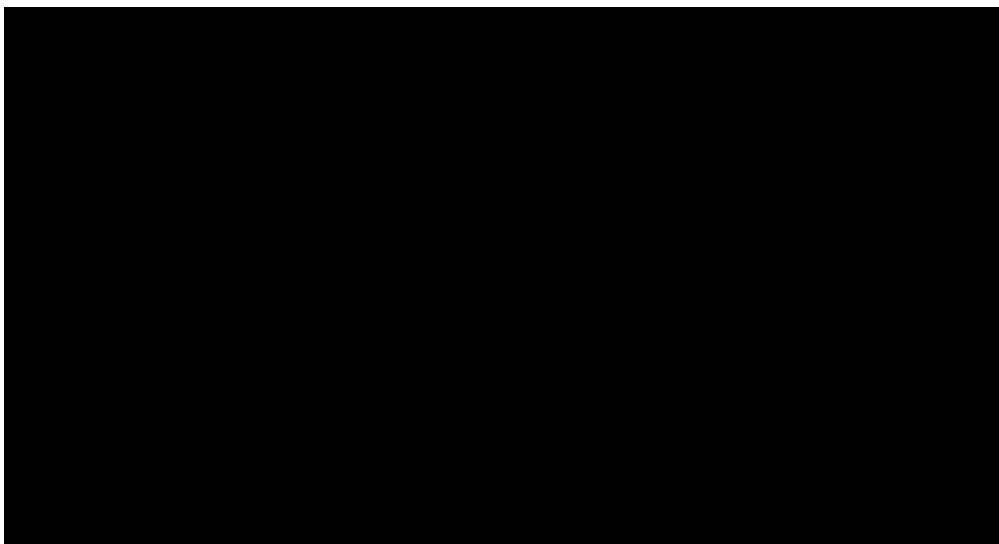
Volgende grafieken tonen:

Grafiek 2 : onjuistheid bij de luminantievoorspelling (vergeleken met de gemeten waarden on site) a.h.v. de vergelijkingsmethode en de CIE-tabellen (R1, R2, R3) voor de verschillende sites (X-as).

Grafiek 3 : het gemiddelde van de absolute waarden van de onjuistheden bij de luminantievoorspelling voor beide methodes. Opmerking: voor de CIE-tabellen methode gaat men ervan uit dat de beste keuze gemaakt is. Als de R2 de beste voorspelling geeft, dan is alleen de R2 onjuistheid in het gemiddelde opgenomen.



Grafiek 2 : Vergelijking van de methodes – Resultaten per site



Grafiek 3 : Vergelijking van de methodes - Gemiddelde

#### 4.1.2 Conclusies

Het is duidelijk dat de vergelijkingsmethode zeer goede resultaten geeft vergeleken met de CIE-tabellen methode.

Het simpelweg kiezen van een R3007 matrix kan erg belangrijke onjuistheden met zich meebrengen (van -40% tot 60%) op de 18 bestudeerde installaties. In het ergste geval kunnen de onjuistheden tot 100% oplopen.

De methode met de mobiele gonio-reflectometer geeft op deze eerste 18 sites heel goede resultaten.

Deze resultaten zijn bemoedigend, maar men moet deze bevestigen door het aantal geteste sites te vergroten. De nauwkeurigheid van het vergelijkingsconcept is erg afhankelijk van de kwaliteit van de database, en niet van de grootte ervan!

Vandaag kan men stellen dat de voorspelling van de luminantieniveaus door het gebruik van de mobiele gonio-reflectometer en de vergelijkingsmethode (zie boven) erg bevredigende resultaten geeft, beter dan verwacht zelfs.

Het nemen van een staal van het wegdek is theoretisch de beste en meest nauwkeurige manier om de wegdekkarakteristieken te leren kennen. Maar het is niet altijd mogelijk om veel stalen te nemen. Meestal worden er slechts 2 of 3 genomen, en dat is niet representatief genoeg voor de hele weg.

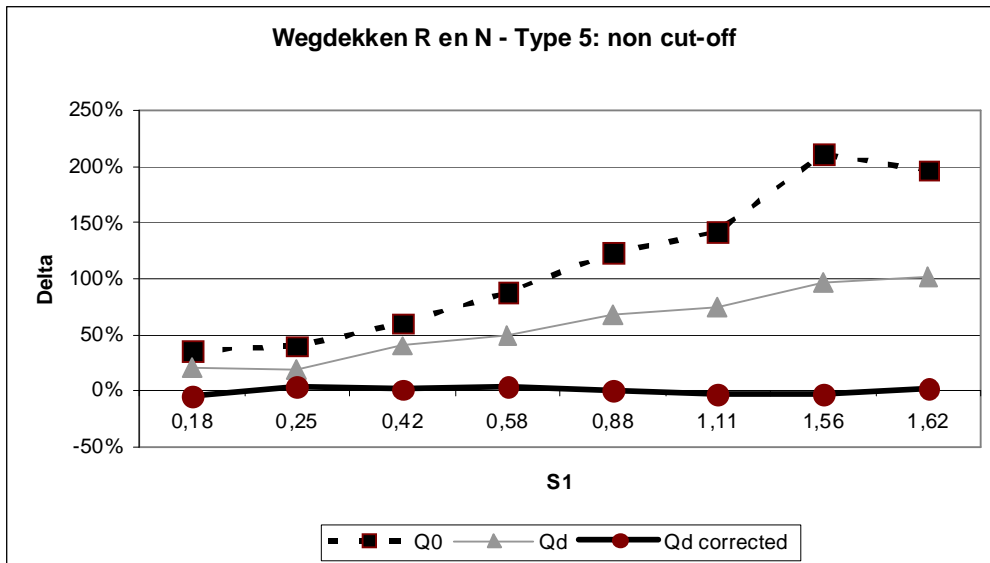
#### 4.2 Schatting van het luminantieniveau van 2 paramaters (helderheid en reflectie)

De wegdekken worden door verschillende parameters gekarakteriseerd. Sommigen zijn evenredig met de helderheid zoals de  $Q_0$  en de  $Q_d$ , terwijl anderen betrekking hebben op het reflectiegedrag.

De 2 helderheidsfactoren  $Q_0$  en  $Q_d$  kunnen gebruikt worden om het luminantieniveau te voorspellen. De idee is eenvoudig: hoe helderder het wegdek, hoe hoger het luminantieniveau zal zijn.

Maar, het is niet zo eenvoudig. In grafiek 4 vergelijkt men aan de ene kant de luminantieniveaus berekend aan de hand van een R-tabel in berekeningssoftwares, en aan de andere kant door deze niveaus te evalueren aan de hand van de helderheidsfactoren  $Q_0$  en  $Q_d$ . Het is duidelijk dat de evaluatie van de luminantie van de  $Q_0$  en  $Q_d$  erg afhankelijk is van de reflectiefactor van het oppervlak, hier vertegenwoordigd door  $S_1$  op de X-as.

Wanneer men de zwarte lijn bekijkt, ziet men dat door één van deze 2 parameters ( $Q_0$  en  $Q_d$ ) te wijzigen, het mogelijk is om met een uitstekende nauwkeurigheid het luminantieniveau te voorspellen ongeacht de reflectie (hiermee is rekening gehouden in de factor zelf). Men heeft ervoor verkozen om de  $Q_d$  te wijzigen omdat deze gemakkelijk on site te meten is met een  $Q_d$ -meter.



Grafiek 3 : Relatieve verschillen in de voorspelling van luminantieniveaus afhankelijk van de verschillende helderheidsfactoren

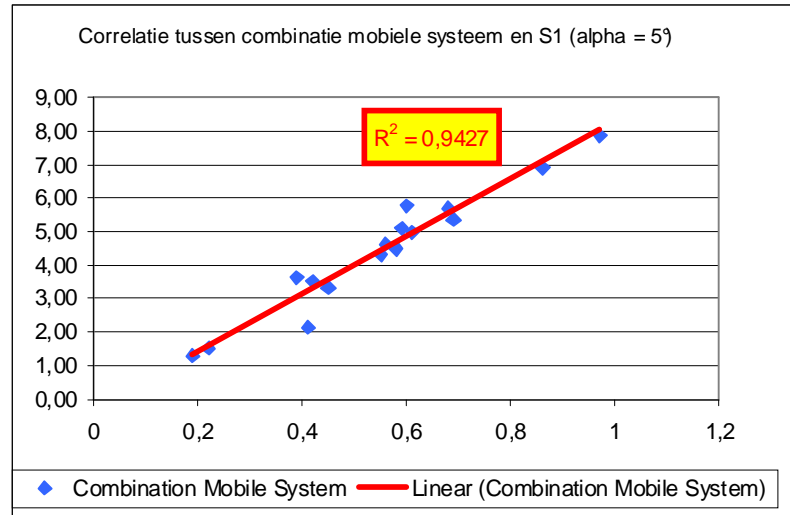
De waarde van deze nieuwe parameter zal afhangen van 2 parameters die het wegdek karakteriseren en bijvoorbeeld de helderheid (Qd) en de reflectie (S1) vertegenwoordigen. Maar, deze nieuwe parameter zal ook afhankelijk zijn van factoren zoals het type lichtverdeling (diffuus, semi-diffuus, breedstralend, enzovoort).

Deze "theorie" is op vele lichtverdelingstypes, configuraties en wegdekken toegepast.

Deze benadering vereist echter de Qd, die on site meetbaar is, maar ook de S1, die door technische omstandigheden niet on site gemeten kan worden. Het is inderdaad om meetkundige en technische redenen moeilijk om in het systeem een lichtcel voor een observatiehoek van  $1^\circ$  ( $\alpha=1^\circ$ ) te integreren.

Dit betekent dat we ofwel een correlatie tussen sommige combinaties van de waarden gemeten met de mobiele meter, en de Qd- en S1-metingen met de laboratorium gonioreflectometer moeten maken, ofwel de aanpak aanpassen aan wat we wel on site kunnen meten.

Een aantal goede correlaties ( $r^2 \approx 0.94$ ) zijn gevonden tussen sommige specifieke combinaties van gemeten waarden met de mobiele gonio-reflectometer, en de S1 en Qd ( $\alpha=5^\circ$ ). Zie grafiek 5.



Grafiek 4 : Correlatie tussen S1 en specifieke combinaties van metingen on site

We moeten deze correlaties nog altijd verbeteren, vooral voor observatiehoeken van  $1^\circ$ .

#### 4.3 Mathematisch model van de R-tabel van een beperkt aantal metingen

Zo'n model moet met volgende vereisten rekening houden:

Het moet voldoende eenvoudig zijn, voornamelijk een klein aantal parameters inhouden, om zo gemakkelijk en snel behandeld te kunnen worden.

Het moet algemeen genoeg zijn zodat het op elk droog wegdek toegepast kan worden.

De waarden van de parameters voor een bepaald wegdek moeten verkregen worden door slechts een klein aantal metingen (uitgevoerd door het prototype) in rekening te nemen met de sterke beperking dat de richtingen waarin de metingen genomen zijn, moeten samenlopen ongeacht het bestudeerde wegdekoppervlak.

Wat de derde vereiste betreft, laat het prototype ons de mogelijkheid om de hele reeks  $\beta$  hoeken te dekken terwijl de invalshoek  $\gamma$  slechts een aantal waarden moet nemen. Bovendien kunnen deze waarden  $\gamma=5.5$  niet overschrijden. Bijgevolg zijn de basiswaarden als volgt in ons model bepaald:  $\tan \gamma = 0, 0.5, 1.75, 5$  and  $5.5$ .

De bijhorende verminderde luminantiecoëfficiënten moeten door het prototype gemeten worden. Zij vormen de startgegevens van waaruit de hele R-tabel aan de hand van het model gecreëerd zal worden. Eens deze basisgegevens verzameld zijn, kan de reconstructie gerealiseerd worden. Om dit te doen, zijn er twee belangrijke stappen noodzakelijk: de

gehele bepaling van het model, en de manier om het toe te passen om coëfficiënten te verkrijgen die zo dicht mogelijk bij de originele aanleunen.

## 5. De volgende stap

Wanneer we deze 3 manieren om de luminantieniveaus te voorspellen, gevalideerd hebben, zullen we een betere kennis hebben van de exacte invalobservatiehoeken.

De denkbeeldige toepassingen van de mobiele gonio-reflectometer zijn talrijk.

Tot op heden, is het moeilijk om de veroudering van het wegdek te bestuderen. Het is noodzakelijk om een aantal wegdekstalen te nemen, maar eens deze stalen genomen zijn, kan men ze natuurlijk niet "oud" maken!

De invloed van weersomstandigheden is een zeer delicaat onderzoeksonderwerp. Momenteel worden de meeste metingen met reflectometers op droge wegdekstalen uitgevoerd. Maar, hoe wordt de reflectiekaracteristiek van het wegdek beïnvloed door vochtigheid, temperatuur, ijsvorming, ...?

Is het wel logisch en correct om een lichtinstallatie te ontwerpen voor enkel droge condities?

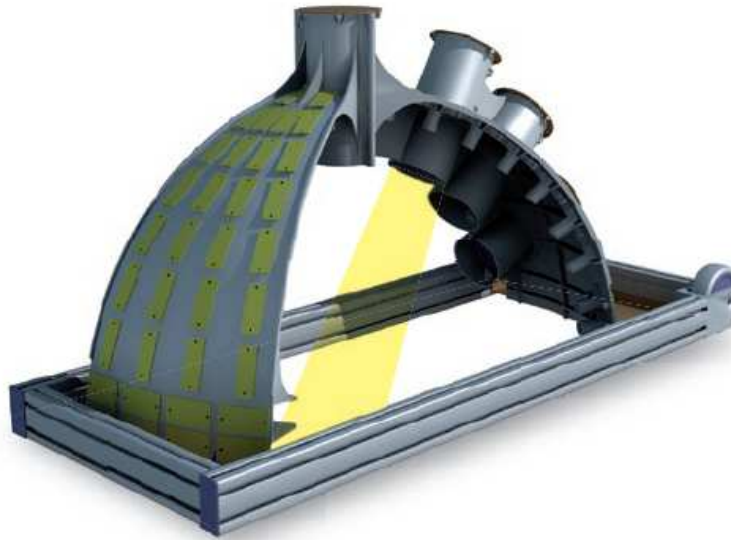
De mobiele gonio-reflectometer zal natuurlijk geen antwoord op al deze vragen geven, maar het kan een handig toestel zijn om meer te weten te komen over de wegdekkarakteristieken.

## 6. Mobiele gonioreflectometer – Tweede generatie

De eerste generatie was ontworpen om een erg flexible prototype te zijn. In het begin wisten we niet exact wat te meten. Daarom is het relatief groot en onhandig te transporteren...

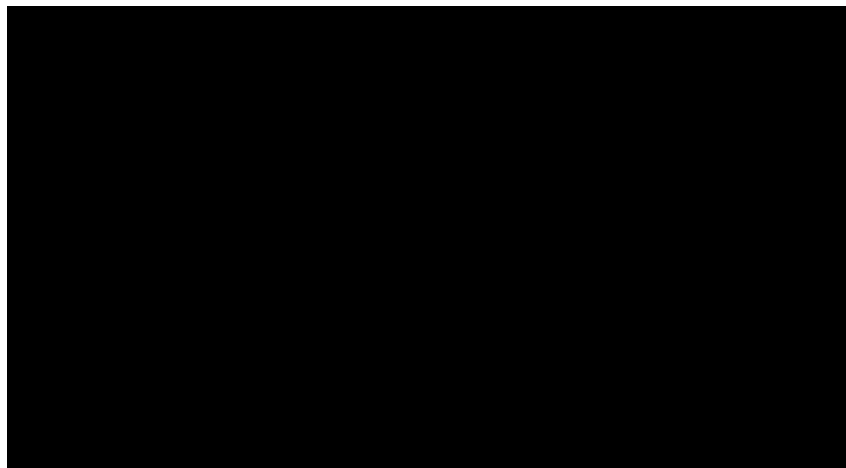
Voor de volgende generatie wilden we de afmeting van het systeem verkleinen, en de metingen sneller laten verlopen door een manuele rotatie van de arm te vermijden. De hele meting wordt nu volledig met de computer aangestuurd.

Het toestel kan kleiner gemaakt worden door het aantal  $\beta$ -hoeken te verkleinen. Bij de tweede generatie van de mobiele reflectometer, zullen we alleen volgende  $\beta$ - hoeken meten: 0°, 10°, 20°, 30° en 150°. Volgens analyses brengt de vermindering van het aantal  $\beta$ -hoeken een stijging van de onjuistheid in luminantievoorspelling van +/- 1.5% met zich mee. Dit geeft dan een relatieve onjuistheid van 7.7%.



Het toestel is compacter, en de tijd die voor de metingen nodig is, is sterk verminderd. Dit geeft de gebruiker de mogelijkheid om meer metingen on site te doen. Deze kleine toename in onjuistheid zal in evenwicht gebracht worden door een betere karakterisering van het hele oppervlak (zie grafiek 6).

We weten dat hoe meer metingen we on site doen, hoe nauwkeuriger het concept is. Uiteindelijk kunnen we ervan uitgaan dat we met het compacte systeem even nauwkeurige metingen kunnen doen als met het bestaande prototype, gewoon dankzij het veelvuldig aantal metingen on site.



Grafiek 6 : Comparison between "All beta" and Reduced Bate version

De volgende generatie mobiele systemen was klaar midden 2006, en 18 Memphis-toestellen werden onder de bedrijven van de Schröder Groep verdeeld.

Het toestel werd in verschillende toepassingen ingezet (straatverlichting, tunnelverlichting, ...) en het geeft een goede correlatie tussen de resultaten gemeten met een klassieke luminantiemeter, en de voorspelling door berekeningen gebaseerd op de voorspelde wegdekkenkarakteristieken die we bij gelijkaardige wegdekken in de database vonden.

Het externe design ziet er als volgt uit:



Figuur 9 : Definitieve versie van de mobiele reflectometer

Dit nieuwe systeem is kleiner, maar bovenal sneller.

Een meting duurt slechts 20 seconden! Dit geeft ons de mogelijkheid om gemakkelijk het aantal metingen on site te verhogen. Dit resulteert automatisch in een betere vertegenwoordiging van de reële wegdekeigenschappen.

De afmetingen van het toestel zijn 100 X 40 X 50 cm.

## 7. Besluit

Dit onderzoeksproject (samenwerking tussen R-Tech (Schröder Groep) en de Luikse universiteit (ULG) kan men een succes noemen.

Het eerste prototype van de mobiele gonio-reflectometer is gefinaliseerd en geeft uitstekende resultaten en correlaties met de laboratorium uitrusting.

De verschillende manieren om het luminantieniveau op basis van de gemeten data te onderzoeken, geeft onverwachte resultaten, vooral de vergelijkingsmethode (methode 1). De database moet nog steeds uitgebreid worden om een antwoord op alle situaties te geven. De tweede generatie zal hierbij een belangrijk punt zijn voor de komende maanden.

De voorspelling van luminantieniveaus aan de hand van de gewijzigde versie van de Qd lijkt innovatief en erg pragmatisch te zijn. En als laatste toont de mathematische reconstructie van de R-tabel ons dat het mogelijk is om heel goede resultaten te behalen door de statistische onjuistheid te minimaliseren. Dit model zal zeker vele interessante toepassingen kennen.

Dit onderzoek heeft ons bovenal erg veel over wegdekeigenschappen geleerd en ons op weg geholpen om verdere tools te ontwikkelen...



## Referenties

- Etude et modélisation de la réflexion lumineuse dans le cadre de l'Eclairage Prévisionnel, J.J. Embrechts, Thèse d'Agrégation de l'Enseignement Supérieur Université de Liège (1995).
- Light reflection model for lighting applications, J.J. Embrechts, Lighting Research and Technology, 27 (4) (1995) 231-241.
- Measurements and modelization of light reflection on road pavement samples, J.M. Dijon, J.J. Embrechts, S. Brusten, Proceedings of the 24th session of the C.I.E., 1 (2), 179-181.
- Absolute Methods for Reflection Measurements, Publication CIE 44-1979
- A Review of Publications on Properties and Reflection Values of Material Reflection Standard, Publication CIE 46-1979
- Road Lighting for Wet Condition, Publication CIE 47-1979
- Retroreflection: Definition and Measurement, Publication CIE 54.2-2001
- Road Surfaces and Lighting, Publication CIE 66-1984
- Road Surface and Road Marking Reflection Characteristics, Publication CIE 144:2001

## Auteurs:

R-Tech – Schreder :

Frankinet Marc, Gillet Marc, Lang Vincent, Longueville Jean-Louis, Maghe Laurent , Marville Christian

Universiteit van Luik :

Castellana Christophe, Debergh Nathalie, Embrechts Jean-Jacques