

# Onderwerpen Bachelorproeven Opleiding Wiskunde

Academiejaar 2024-2025

Vakgroep Toegepaste Wiskunde, Informatica en Statistiek

---

## Titel: Algoritmen uit de computationele meetkunde

Promotor: Prof. Veerle Fack

Vak: Algoritmen en Datastructuren - Optimalisatie

Het is de bedoeling om algoritmen te bestuderen voor problemen zoals het bepalen van de convexe omhullende van een puntenverzameling, het bepalen van alle snijpunten van een reeks segmenten in het vlak, het bepalen van een triangulatie van een veelhoek, e.d. Voor deze problemen zijn de eenvoudige exhaustieve algoritmen te traag, maar er bestaan geavanceerde algoritmen die steunen op standaard algoritmische ontwerptechnieken (zoals verdeel-en-heers, gebruik van datastructuren, e.d.) Verder is het ook de bedoeling om de bruikbaarheid van deze algoritmen in toepassingen te bestuderen.

Referentie: Mark de Berg, et al., "Computational Geometry: Algorithms and Applications", Springer, 2008.

## Titel: Wiskundige modellen in de epidemiologie

Promotor: Prof. Marnix Van Daele

Begeleider: Prof. Willy Govaerts (willy.govaerts@ugent.be)

Vak: Wiskundige modellering

In Deel III (Epidemiologische modellen) van de cursus Wiskundige Modellering van Prof. M. Van Daele (3de bachelor wiskunde) wordt de basistheorie over epidemische modellen ontwikkeld. Het gaat hierbij om compartimentele modellen waarbij de populatie opgesplitst wordt in een aantal besmette en een aantal niet-besmette compartimenten. Een model bestaat dan uit een stelsel gewone differentiaalvergelijkingen, voor ieder compartiment een vergelijking.

Wiskundige modellen voor epidemiologie vormen tegenwoordig een groot studiegebied. Het boek [1] behandelt dit onderwerp op een encyclopedische manier (619 bladzijden!). Voor het bachelorproject is het de bedoeling om een aantal topics te behandelen uit het tweede hoofdstuk van het boek. We hebben hiervoor gekozen omdat dit hoofdstuk goed aansluit bij de geziene leerstof in de cursus van Prof. Van Daele en de weg opent naar meer gevorderde studies.

De volgende onderwerpen kunnen aan bod komen:

1. Massa-actie incidentie en standaard incidentie (vooral voor sexueel overdraagbare ziekten). Incidentie betekent gewoon besmetting.
2. Het SIS model van Kermack en McKendrick en het verband met de logistische vergelijking.
3. Modellen met natuurlijke geboorten en overlijdens die alleen afhangen van de totale populatiegrootte. Vergelijkingen zijn van de vorm  $N' = f(N) - bN$  met  $f$  een niet-lineaire functie en  $N$  de totale populatiegrootte. Het verband met het basisreproductiegetal en de draagcapaciteit van de populatie.
4. Endemische ziekten met asymptotisch stabiele evenwichtstoestanden.

5. Epidemische modellen met overlidens toe te schrijven aan de ziekte. Het infectietempo is daarbij een functie  $g(N)$  van de populatiegrootte.

Referentie:

1. Fred Brauer, Carlos Castillo-Chavez and Zhilan Feng, *Mathematical Models in Epidemiology*, Texts in Applied Mathematics 69, Springer 2019.

## **Titel: Matrixfactorisaties en hun toepassingen**

Promotor: Prof. Marnix Van Daele (marnix.vandaele@ugent.be)

Vak: Numerieke analyse - Wiskundige modellering

Matrices vormen een belangrijk wiskundig instrument in de lineaire algebra. Ze bieden bvb. een middel om lineaire transformaties te beschrijven, om stelsels lineaire vergelijkingen op te lossen, enz. Matrices en hun eigenschappen worden dan ook in verschillende bachelor cursussen uitvoerig bestudeerd. In het bijzonder worden ook een aantal matrixfactorisaties besproken: de eigenwaardenontbinding in een cursus rond lineaire algebra, de LU-, QR- en Cholesky-decomposities in de cursus Numerieke Analyse, de singuliere-waarden-ontbinding (SWO) in de cursus Wiskundige Modellering, ... Maar er zijn nog heel veel andere factorisaties bekend: zie bvb. [https://en.wikipedia.org/wiki/Matrix\\_decomposition](https://en.wikipedia.org/wiki/Matrix_decomposition).

In dit bachelorproject kunnen we dieper ingaan op zo'n factorisaties waarrond algoritmen zijn opgebouwd of die een belangrijke rol spelen in het hedendaags wiskundig onderzoek.

## **Titel: Symplectische numerieke methoden**

Promotor: Prof. Marnix Van Daele (marnix.vandaele@ugent.be)

Vak: Wiskundige modellering

De stroming van Hamiltoniaanse systemen is symplectisch. Symplectische numerieke methoden behouden deze eigenschap. In de cursus Wiskundige Modellering werden al enkele symplectische numerieke methoden besproken zoals de symplectische Euler-methodes, de Stormer-Verlet-methodes, of de Gaussische collocatiemethodes. Het doel van dit bachelorproject is om op zoek te gaan naar andere klassen en families van symplectische methoden (bvb. de gepartitioneerde LobattoIIIA-LobattoIIIB methoden, of methoden die ontstaan door compositie of splitting). Een startpunt kan het volgende document zijn (hoofdstuk 2 uit het boek *Geometric Numerical integration* van Hairer, Wanner en Lubich):

<https://ianm-mao.math.kit.edu/marlis/download/meetings/080berwolfach/problems/gnibook-chap2.pdf>

## **Titel: De numerieke oplossing van Sturm-Liouville-problemen**

Promotor: Prof. Marnix Van Daele (marnix.vandaele@ugent.be)

Vak: Wiskundige modellering

In het laatste deel van de cursus Wiskundige Modellering wordt de numerieke oplossing van Sturm-Liouville-problemen besproken. In het bijzonder wordt aandacht besteed aan Matslise, een pakket ontwikkeld binnen de eigen onderzoeksgroep aan UGent in samenwerking met de Roemeense onderzoeker Liviu Ixaru.

In de cursus worden de basisideeën uiteengezet: shooting, Prüfer-transformatie, Coëfficiënt-approximatie en perturbatierekening. Het doel van het bachelorproject is om dieper in te gaan op deze en/of andere aspecten.

## **Titel: Het optimaliseren van klinische onderzoeken door het incorporeren van baseline variabelen**

Promotor: dr. Kelly Van Lancker (kelly.vanlancker@ugent.be)

Doelgroep: Studenten met interesse in (toegepaste) statistiek

Tijd is altijd cruciaal als het gaat om de evaluatie van potentiële geneesmiddelen en vaccins, maar de laatste jaren is dit meer dan ooit duidelijk geworden met het oog op de COVID-19-pandemie. 'Covariate adjustment' (d.w.z. het in rekening brengen voor vooraf gespecificeerde, prognostische variabelen die gemeten worden vóór randomisatie) is een statistische methode met een groot potentieel om de precisie te verbeteren en de vereiste steekproefgrootte te verkleinen voor veel klinische studies. In de meeste klinische studies worden op het moment van rekrutering gegevens verzameld over 10-tallen tot zelfs meer dan 100 kenmerken van de patiënten (vb. leeftijd, ernst van de ziekte, BMI). Dergelijke variabelen zijn inderdaad nuttig omdat ze informatie bevatten over de prognose voor de patiënt.

Het doel van dit project is om twee verschillende populaire methodes voor covariate adjustment (targeted maximum likelihood estimation en PROCOVA) met elkaar te vergelijken. Lopende samenwerkingen met de vakgroep Biostatistiek aan Johns Hopkins University, de Amerikaanse Food and Drug Administration en farmaceutische bedrijven zullen de bruikbaarheid van de resultaten in de praktijk ten goede komen. Afhankelijk van de interesses van de student, kunnen we dieper ingaan op praktische of theoretische problemen.

## **Titel: Het optimaliseren van klinische onderzoeken door de statistische informatie te monitoren**

Promotor: dr. Kelly Van Lancker (kelly.vanlancker@ugent.be)

Doelgroep: Studenten met interesse in (toegepaste) statistiek

Bij het opstarten van een klinische studie is er vaak onzekerheid over de nodige steekproefgrootte, daar het moeilijk kan zijn om een inschatting te maken omtrent de precisie waarmee men het behandelingseffect kan schatten. Foute inschattingen kunnen ervoor zorgen dat de uiteindelijke klinische studie een te grote of te lage power zal hebben. Dit probleem vergroot wanneer men gebruik wil maken van 'covariate adjustment'. 'Covariate adjustment' (d.w.z. het in rekening brengen voor vooraf gespecificeerde, prognostische variabelen die gemeten worden vóór randomisatie) is een statistische methode met een groot potentieel om de precisie te verbeteren en de vereiste steekproefgrootte te verkleinen voor veel klinische studies. In de meeste klinische studies worden op het moment van rekrutering gegevens verzameld over 10-tallen tot zelfs meer dan 100 kenmerken van de patiënten (vb. leeftijd, ernst van de ziekte, BMI). Dergelijke variabelen zijn inderdaad nuttig omdat ze informatie bevatten over de prognose voor de patiënt.

In dit project bestuderen we hoe we dit obstakel kunnen aanpakken door te focussen op statistische informatie in plaats van steekproefgrootte. In het bijzonder monitoren we voortdurend de verzamelde informatie (dat wil zeggen, de inverse van de variantie van de schatter) tijdens de studie en voeren we de analyse uit wanneer vooraf gespecificeerde cut-offs (voor de statistische informatie) bereikt worden. We verwijzen naar dit type opzet als "informatie-adaptief". Lopende samenwerkingen met de vakgroep

Biostatistiek aan Johns Hopkins University, de Amerikaanse Food and Drug Administration en het farmaceutische bedrijven zullen de bruikbaarheid van de resultaten in de praktijk ten goede komen. Afhankelijk van de interesses van de student, kunnen we dieper ingaan op praktische of theoretische problemen.

### **Titel: Betrouwbaarheidsbanden in niet-parametrische regressie**

Promotor: Prof. Oliver Dukes ([oliver.dukes@ugent.be](mailto:oliver.dukes@ugent.be))

Doelgroep: Studenten met interesse in mathematische statistiek

Veel statistische en machine learning-methoden passen een regressiecurve aan op data om voorspellingen te maken voor toekomstige individuen op basis van hun covariabelen. Idealiter wordt er, naast de geschatte waarden, ook een maat voor onzekerheid verstrekt. Het doel van dit project is om bestaande methoden te onderzoeken voor het bieden van betrouwbaarheidsbanden bij niet-parametrische regressieschatters. Eerst worden theoretische eigenschappen zoals de breedte en de dekking van de banden bekeken, en vervolgens wordt de praktische prestatie geëvalueerd met behulp van gesimuleerde data.

### **Titel: Causale inferentie en meetfouten**

Promotor: Prof. Oliver Dukes ([oliver.dukes@ugent.be](mailto:oliver.dukes@ugent.be))

Doelgroep: Studenten met interesse in mathematische statistiek.

In veel empirische studies is men geïnteresseerd in het vaststellen van het causale effect van een specifieke blootstelling op een uitkomst. Helaas worden de blootstelling, de uitkomst of de verstorende variabelen (gemeenschappelijke oorzaken van de blootstelling en de uitkomst die hun associatie vertekenen) vaak met fouten gemeten. Dit kan leiden tot zowel bias als een verhoogde variantie in de schattingen van het causale effect. Het doel van dit project is om verschillende benaderingen te onderzoeken voor het omgaan met meetfouten; we zullen ons richten op methoden die minimale parametrische aannames maken over het proces dat de data genereert.