

Modalities and Questions List for the Oral Exam of  
MECA0027: Structural and Multidisciplinary Optimization  
P. TOSSINGS - P. DUYSINX  
Academic Year 2020-2021

December 15, 2020

%%% VERSION FRANCAISE DESSOUS %%%

Exam procedure of January 2021:

The examination consists of:

1. Part I: Theory
  - i. Two questions of theory from the above list : one with Prof. Tossings, one with Prof. Duysinx
  - ii. Sub-questions of general knowledge
2. Part II: Computer projects defense  
Defense and discussion about the projects

Given the sanitary conditions, the examination must take place in visio conference on the BLACK BOARD COLLABORATE and on LIFESIZE platform Three rooms have been booked

1. MECA0027 OPTI P. TOSSINGS  
<https://eu.bbcollab.com/guest/cef3244dc0e7491481b074df76e67ab3>
2. MECA0027 OPTI P. DUYSINX  
<https://call.lifesecloud.com/4378874> (no password)
3. MECA0027 OPTI PROJECTS  
<https://call.lifesecloud.com/6670852> (no password)

An appointment schedule will be established. A slot of 30 minutes is allocated to each student in each room. You will sequentially visit Prof. Tossings, Prof. Duysinx and then projects rooms (3 times 30 minutes).

*Part I: Theory*

Students have to discuss two questions: one question about introduction to mathematical (numerical) optimization with Prof. Tossings and one question about the introduction to structural optimization with Prof. Duysinx. Maximum time allocated to each question is 30 minutes, including a short preparation time (maximum 5 minutes).

A list of questions based on the material seen during the course is proposed. The student draws two questions at random from the list, one for each part. To support the discussion, the students are invited to prepare documents that will be shared during the discussion with the professor. The students have to prepare in advance the documents they want to share. Using

powerpoint/word files or scanned handwritten notes in PDF format is encouraged. The use of copies of teachers' slides should not be a good option, even if it is tolerated.

During the oral exam, students must demonstrate a thorough understanding of the topics covered in each question. They should be able to explain the proofs of the conjectures. At the end of the presentation of the prepared question, the examiners start discussing and asking sub-questions about the presented topic as well as asking short questions assessing the student's general knowledge of the course material as a whole (no notes can be used during this part of the exam).

The two parts presented to the two professors have the same weight in the oral evaluation (30% each of the total mark).

The agenda of the exam will be provided one week before the exam.

### *Part II : Computer projects defense*

The assessment of the computer projects is based on two things:

- The evaluation of delivered reports and related computer codes.
- The discussion of the project during the third part of the exam.

The sum of the computer projects' weight represents 40% of the final mark: 20% for the reports and 20% for the discussion and defense.

%%% VERSION FRANCAISE %%%

### Procédure d'examen oral de janvier 2021 :

L'examen consiste en :

- Partie I : Théorie
  - Deux questions théoriques de la liste ci-dessous : l'une avec le professeur Tossings, l'autre avec le professeur Duysinx
  - Des sous-questions de culture générale sur le cours
- Partie II : Défense des projets informatiques
  - Défense et discussion sur les projets

Compte tenu des conditions sanitaires, l'examen doit avoir lieu en visio-conférence sur les plateformes BLACK BOARD COLLABORATE et LIFESIZE. Trois salles ont été réservées

- MECA0027 OPTI P. Tossings  
<https://eu.bbcollab.com/guest/cef3244dc0e7491481b074df76e67ab3>
- MECA0027 OPTI P. Duysinx  
<https://call.lifesizecloud.com/4378874> (pas de mot de passe)
- MECA0027 PROJETS OPTI  
<https://call.lifesizecloud.com/6670852> (pas de mot de passe)

Un calendrier de rendez-vous sera établi. Un créneau de 30 minutes est attribué à chaque étudiant dans chaque salle. Vous visiterez successivement les salles du Prof. Tossings, du Prof. Duysinx et ensuite les salles dédiées aux projets (3 fois 30 minutes).

## Partie I : Théorie

Les étudiants doivent présenter deux questions : une question sur l'introduction à l'optimisation mathématique (numérique) avec le Professeur Tossings et une question sur l'introduction à l'optimisation structurelle avec le Professeur Duysinx. Le temps maximum alloué à chaque question est de 30 minutes, y compris un court temps de préparation (maximum 5 minutes).

Une liste de questions basée sur la matière vue au cours est proposée. L'étudiant tire au sort deux questions de la liste, une pour chaque partie. Pour soutenir leur présentation, les étudiants sont invités à préparer des documents qui seront partagés lors de la discussion avec le professeur. Les étudiants doivent préparer à l'avance les documents qu'ils veulent partager. L'utilisation de fichiers powerpoint/word ou de notes manuscrites scannées au format PDF est encouragée. L'utilisation de copies des diapositives des professeurs n'est pas une option recommandée, même si elle est tolérée.

Lors de l'examen oral, les étudiants doivent démontrer une compréhension approfondie des sujets traités dans chaque question. Ils doivent être capables d'expliquer les preuves des conjectures. À la fin de la présentation de la question préparée, les examinateurs commencent à discuter et à poser des sous-questions sur le sujet présenté ainsi qu'à poser de courtes questions évaluant les connaissances générales de l'étudiant sur l'ensemble du matériel de cours (aucune note ne peut être utilisée pendant cette partie de l'examen).

Les deux parties présentées aux deux professeurs ont le même poids dans l'évaluation orale (30% de la note totale chacune).

L'horaire détaillé de passage des étudiants sera fourni une semaine avant l'examen.

## Partie II : Défense de projets informatiques

L'évaluation des projets informatiques repose sur deux éléments :

- L'évaluation des rapports livrés et des codes informatiques correspondants.
- La discussion du projet pendant la troisième partie de l'examen.

La somme des pondérations des projets sur ordinateur représente 40% de la note finale : 20% pour les rapports et 20% pour la discussion et la défense.

## Questions List:

### *Partim I: Introduction to Numerical Optimization by Prof. Tossings*

1. Necessary and sufficient optimality conditions for an optimization problem
  - 1/ without constraints,
  - 2/ subject to one (several) equality constraint(s),
  - 3/ subject to several inequality constraints.

Interpretation of the optimality conditions if possible.

*[Conditions (nécessaires/suffisantes) d'optimalité d'un problème d'optimisation sans contrainte puis avec contrainte(s) d'égalité et, enfin, d'inégalité ; interprétation si possible.]*

2. Unconstrained minimization. Fundamental approach of descent directions. Particular case of the steepest descent algorithm.

*[Minimisation d'une fonction réelle sans contrainte : principe général des méthodes de descente – cas particulier de l'algorithme de la plus grande pente.]*

3. Unconstrained minimization. Fundamental approach of descent directions. Particular case of conjugate directions and conjugate gradients methods.

*[Minimisation d'une fonction réelle sans contrainte : principe général des méthodes de descente – cas particulier des algorithmes de directions conjuguées et des gradients conjugués.]*

4. Three one-dimensional minimization techniques (line search methods) for the minimization of a real valued 'n' variables function along a given descent direction 's'.

*[Trois méthodes d'optimisation unidimensionnelle (recherche linéaire) pour la minimisation d'une fonction réelle à 'n' variables suivant une direction de descente 's' donnée.]*

5. Unconstrained minimization of a real function. Newton, Newton-like and quasi-Newton methods.

*[Minimisation d'une fonction réelle sans contrainte : méthodes de Newton, 'Newton-like' et quasi-Newton.]*

6. Dual method. Introduction to the Lagrange duality, strong and weak duality. Properties of the dual function.

*[Méthode duale : introduction à la dualité lagrangienne, dualité faible, dualité forte, propriétés de la fonction duale.]*

7. Dual method. Illustration of the method on the solution of quadratic problems subject to linear constraints.

Specific treatment of side constraints.

*[Méthode duale : illustration sur la résolution de problèmes quadratiques avec contrainte(s) linéaire(s) – traitement spécifique des contraintes de bornes.]*

8. Quasi-unconstrained minimization of a real function (side constraints only). Optimality conditions and adaptation of the steepest descent algorithm.

*[Minimisation d'une fonction réelle en présence de contraintes de bornes uniquement (optimisation quasi-non-contrainte) : conditions d'optimalité et adaptation de la méthode de la plus grande pente.]*

9. Minimization of a function subject to general constraints - transformation methods: penalization.

*[Minimisation d'une fonction réelle en présence de contraintes quelconques - méthodes de transformation : pénalisation.]*

10. Minimization of a function subject to general constraints - transformation methods: augmented Lagrangian, SLP and SQP.

*[Minimisation d'une fonction réelle en présence de contraintes quelconques - méthodes de transformation : Lagrangien augmenté, SLP et SQP.]*

## *Partim II : Introduction to Structural Optimisation by Prof. Duysinx*

11. Formulation of engineering design problems as constrained optimization problems.

Define the concept of design variables, objective function and design constraints, design loop.

*[Formulation d'un problème de conception en ingénierie comme un problème d'optimisation numérique sous contraintes. Définir les notions de variables de conception, de fonction objectif et de contraintes ainsi que de boucle d'optimisation.]*

12. The two-bar-truss problem: formulation, analytical solution, expression of stresses and displacements, minimum weight subject to stress constraints and minimum weight subject to displacement constraints, discussion of the solution, properties of the design space.

*[Le problème du treillis deux barres : formulation, solution analytique, expression des contraintes et des déplacements, problème du poids minimum soumis aux contraintes de tension et de poids minimum soumis aux contraintes de déplacement, discussion de la solution, propriétés de l'espace de conception.]*

13. The three-bar-truss problem: formulation, analytical solution, expression of stresses and displacements, minimum weight subject to stress constraints and minimum weight subject to displacement constraints, discussion of the solution, properties of the design space.

*[Le problème du treillis trois barres : formulation, solution analytique, expression des contraintes et des déplacements, problème du poids minimum soumis aux contraintes de tension et de poids minimum soumis aux contraintes de déplacement, discussion de la solution, propriétés de l'espace de conception.]*

14. Optimality Criteria: Fully Stressed Design. Formulation, Redesign formula, Solution of determinate and un determinate structures. FSD as a zero-order approximation. *[Critères d'optimalité : Conception de Solide d'Egale Résistance. Formulation, formule de reconception, solution de structures déterminées et indéterminées. FSD comme une approximation d'ordre zéro.]*

15. Derive the explicit expression of displacement constraints using Berke's approach. What are the assumptions to be an exact expression? Berke's approximation as a first order approximation.

*[Dériver l'expression explicite des contraintes de déplacement en utilisant l'approche de Berke. Sous quelles hypothèses l'expression de Berke est-elle exacte ? L'approximation de Berke en tant qu'approximation d'ordre un.]*

16. Optimality Criteria (OC) for the mass minimization of structures under a single static load case. Formulation, optimality conditions, primal variables expression, determination of Lagrange multiplier, physical interpretation, redesign rule. Extension to side constraints and stress constraints.

*[Critère d'optimalité d'une structure sous contrainte de déplacement unique. Formulation, conditions d'optimalité, expression des variables primaires, détermination du multiplicateur de Lagrange, interprétation physique, règle de reconception. Extension aux contraintes de bornes et aux contraintes de tension.]*

17. Optimality Criteria with multiple displacement and stress constraints. Formulation, Assumptions of solution scheme. Update formula of design variables and update schemes of dual variables. Identify the difficulties of the approach. Subsidiary

question: Why dual methods can solve rigorously the problem of the solution of the sub-problems?

*[Critères d'optimalité pour un problème avec plusieurs contraintes de déplacement et de tension. Formulation, Hypothèses du schéma de solution. Formule de mise à jour des variables de conception et schémas de mise à jour des variables duales. Identifier les difficultés de l'approche. Question subsidiaire : Pourquoi les méthodes duales peuvent-elles résoudre rigoureusement le problème de la solution des sous-problèmes ?]*

18. Sensitivity analysis using finite difference approach. Discuss the choice of the perturbation step and the strategy to implement finite differences in the framework of iterative solvers.

*[Analyse de sensibilité par la méthode des différences finies. Discutez le problème du choix de la perturbation et le cas des problèmes résolus par des équations itératives.]*

19. Sensitivity analysis for static linear analysis problems discretized using finite elements. Derive the first and second order sensitivity equations of the generalized displacements and the expression of a generic response function  $R$ . Introduce the concepts of direct and adjoint approaches.

*Analyse de sensibilité des problèmes d'optimisation structurale pour des analyses statiques. Développer les équations des dérivées premières et secondes pour les déplacements généralisés et une fonction de réponse  $R$  arbitraire. Introduire les concepts d'approches directes et adjointes.]*

20. Sensitivity analysis for static linear analysis problems discretized using finite elements. Describe the analytical and semi-analytical approaches. Establish the sensitivity expression of displacements, compliance and stresses.

*[Analyse de sensibilité des problèmes d'optimisation structurale pour des analyses statiques. Approches analytique et semi-analytique. Sensibilité des déplacements, de l'énergie, des tensions.]*

21. Sensitivity analysis for natural vibration problems discretized using finite elements. Establish the sensitivity expression of natural frequencies and eigen modes.

*[Analyse de sensibilité des problèmes d'optimisation structurale pour une analyse vibratoire (fréquences naturelles et modes propres).]*

22. First order approximation schemes in structural optimization: from linear Taylor expansion and reciprocal variable expansion to convex linearization - CONLIN.

*[Schémas d'approximation du premier ordre: des approximations linéaires et en variables réciproques à CONLIN.]*

23. Approximation schemes of first order based on the method of mobile asymptotes MMA.

*[Schémas d'approximation du premier ordre basés sur la méthode des asymptotes mobiles MMA.]*

24. Topology optimization. Formulation of free topology as an optimal material distribution. Statement of the design problem as an optimization problem. Choice of the objective function. Parameterization of the material properties in the porous material. Stability of numerical solutions using filtering techniques.

*[Optimisation topologique des structures. Formulation du problème sous forme de distribution de matière. Formulation du problème de conception comme un problème d'optimisation. Choix de la fonction objectif. Paramétrisation des propriétés matérielles. Stabilité des solutions numériques au moyen des méthodes de filtre.]*

25. Topology optimization. Formulation of free topology as an optimal material distribution. Sensitivity analysis of compliance design. Solution approaches using Optimality Criteria or sequential programming.

*[Optimisation topologique des structures. Formulation du problème sous forme de distribution de matière. Analyse de sensibilité des problèmes de compliance minimale. Approches de résolution utilisant les critères d'optimalité ou la programmation mathématique.]*