

Parcours *Recherche Opérationnelle* (M2 RO)

Marcel Mongeau
ENAC, F-31055 Toulouse, France

<http://m2ro.recherche.enac.fr>

22 juillet 2020



MASTER 2
RECHERCHE
OPERATIONNELLE

TOULOUSE

Le M2 RO (né à la rentrée 2012) était d'abord une spécialité du master recherche « Informatique et Télécommunications » (M2R-IT) portée par l'Université Paul Sabatier (UPS) et co-habilitée avec les écoles d'ingénieurs ENAC, INPT, INSA-Toulouse et ISAE-SUPAERO. Elle était gérée par l'ENAC.

Depuis la campagne d'accréditation de la rentrée 2016, le master RO est un parcours porté par l'UPS qui est commun aux deux mentions *Mathématiques et applications* et *Informatique*. La mention *Mathématiques et applications* est co-accréditée par l'UPS, l'université Toulouse I - Capitole, les écoles ENAC et ISAE-SUPAERO, tandis que la mention *Informatique* est co-accréditée par l'UPS, et les écoles INPT et ENAC. Par ailleurs il y a une convention entre l'UPS et l'INSA-Toulouse qui permet aussi aux élèves-ingénieurs de l'INSA de s'inscrire en double diplôme. La première année (M1) de ce parcours consiste en le M1 SID (commun aux deux mentions) ou le M1 MAPI3 de la mention *Mathématiques et applications*.

Table des matières

1	Description	3
2	Objectifs de la formation	3
3	Débouchés et métiers	3
4	Compétences	4
5	Connaissances	5
6	Équipe pédagogique	5
7	Conseil de perfectionnement	6
8	Partenariat avec Montréal	7
9	Cursus	7
9.1	M1	7
9.2	M2	7
9.2.1	1er semestre (30 ECTS)	7
9.2.2	2nd semestre (30 ECTS)	8
9.2.3	Mutualisation inter-établissement	8
A	Les UE proposées au 1er semestre du M2	8
A.1	Fondamentaux de la RO (FRO - 6 ECTS - P)	8
A.2	Graphes et réseaux : modélisation et algorithmes (GRA - 3 ECTS)	9
A.3	Sujets spéciaux en optimisation (SSO - 3 ECTS - 2 R)	9
A.4	Optimisation combinatoire avancée (OCA - 3 ECTS - 2 R)	10
A.5	Méthodes stochastiques pour l'optimisation globale (SOG - 3 ECTS - R)	10
A.6	Optimisation sous incertitude (INC - 3 ECTS 2 P)	10
A.7	Optimisation globale déterministe (OGD - 3 ECTS - 2 R)	11
A.8	Complexité (CMP - 3 ECTS)	11
A.9	Programmation par contraintes (PPC - 3 ECTS - P)	11
A.10	Thèmes contemporains en optimisation (TCO - 3 ECTS - 2 R)	12
A.11	Algorithmes en Apprentissage Artificiel (APP - 3 ECTS 2)	12
A.12	Gestion intégrée de la production et de l'énergie (GPE - 3 ECTS - P)	12
A.13	Conception de réseaux de valorisation (CRV - 3 ECTS P)	13
B	Les UE proposées au 2nd semestre du M2	14
B.1	RO appliquée (ROA - 3 ECTS)	14
B.2	Projet tuteuré (PRJ - 3 ECTS)	14
B.3	Stage (STA - 24 ECTS)	14

C	Inscription en double diplôme en école d'ingénieurs	15
C.1	ENAC	15
C.2	INPT-ENSIACET	15
C.3	INPT-ENSEEIH	15
C.4	INSA de Toulouse	15
C.5	ISAE-SUPAERO	15

1 Description

La RO est une discipline scientifique à l'interface des Mathématiques appliquées, de l'Informatique et de l'Ingénierie. En RO, on cherche d'abord à modéliser les systèmes complexes de plus en plus présents dans l'industrie et dans les grandes organisations de façon à, ensuite, concevoir des outils d'aide à la décision pour l'amélioration de ces systèmes. Les problèmes réels ainsi modélisés mettent en jeu le plus souvent des sous-problèmes d'optimisation.

Pour répondre à une demande régionale importante des industriels (en particulier du secteur aéronautique) et de la recherche académique, le parcours RO toulousain a été créé en 2012 sous la spécialité M2R-IT de la mention Informatique. Ce parcours a connu une forte croissance en nombres d'étudiants : 4, 14, 20 puis une trentaine d'étudiants à chaque rentrée depuis 2015 en provenance pour les deux-tiers des écoles co-habilitées ; pour ce qui concerne l'autre tiers, les inscrits à l'UPS, la majorité des étudiants viennent généralement d'Afrique francophone ; sinon d'autres établissements français ou européens.

Ce parcours permettra à l'étudiant d'acquérir de solides compétences en modélisation mathématique, optimisation, algorithmique et mise en oeuvre informatique, ce dont le chercheur et l'ingénieur spécialistes de RO ont besoin.

2 Objectifs de la formation

L'objectif principal de ce parcours est de former des spécialistes (ingénieurs et/ou futurs doctorants) capables de développer une démarche scientifique complète de RO sur un problème réel d'optimisation, depuis la compréhension du problème jusqu'à la proposition aux décideurs d'un éventail de solutions en passant par la modélisation mathématique du problème, l'élaboration d'algorithmes d'optimisation, leur mise en oeuvre informatique, la conduite d'expériences numériques et l'analyse de résultats.

3 Débouchés et métiers

À l'issue de cette formation, les étudiants trouveront des débouchés comme ingénieur R&D dans de nombreux domaines d'applications : transports, énergie, production, logistique, télécommunications, médias, industrie manufacturière, construction, sociétés de conseils, éditeurs de logiciels, sciences du vivant, finance, etc.

Ils pourront s'ils le souhaitent approfondir leurs connaissances en sollicitant une thèse de doctorat, diplôme de plus en plus valorisé à l'étranger et dans les grandes multina-

tionales françaises. Il existe de plus en RO de nombreuses possibilités de financement pour faire une thèse en France en milieu industriel (dite thèse CIFRE) pendant laquelle l'étudiant est embauché comme ingénieur par l'entreprise.

Les débouchés sont larges comme le démontrent les très nombreuses offres de stage que nous recevons. Ces dernières années, notre site web répertorie, pour notre petite trentaine d'étudiants, une centaine d'offres de stages dont environ un quart avec possibilités de poursuites en thèse financée.

Le devenir (connu) de nos diplômés est affiché sur le site web du M2 RO. Grosso modo, un quart des diplômés poursuivent en thèse de doctorat et les autres ont des postes principalement comme ingénieur R&D.

Le parcours RO est par nature très appliqué : des campagnes d'expérimentations numériques suivies d'analyses des résultats impliquent des rebouclages avec la modélisation mathématiques du problème initial et l'algorithme de résolution mis en oeuvre. Cette caractéristique de la formation rend les compétences de nos diplômés très attractives et ce, d'autant plus qu'il y a actuellement de nombreux postes sur le marché du travail qui mettent en jeu un travail d'ingénieur avec de bonnes bases en mathématiques appliquées et une bonne expérience en programmation (la demande en ce sens est notamment particulièrement forte dans les sociétés de services ou dans tout ce qui peut porter l'étiquette floue : « intelligence artificielle »).

D'autre part, il y a obligation au M2 RO que le stage de fin d'études (de 24 ECTS) soit orienté « recherche » car nous considérons que cela constitue un fondement d'une bonne formation à la RO. Cela ouvre donc également la porte à nos diplômés aux postes d'ingénieur en R&D, ainsi qu'à l'inscription en doctorat, en CIFRE ou, plus généralement, en thèse financée sur des contrats liant entreprises et laboratoires académiques de recherche mais aussi sur des thèses financées par le Ministère de l'enseignement supérieur et la recherche.

De nombreux responsables industriels (chez Airbus, Air France, Altran, Amadeus, Bouygues, Cap Gemini, EDF, Eurodecision, Google, IBM, Orange Labs, Renault, SNCF, Total), qui sont aussi des chercheurs spécialistes de la RO, soutiennent le M2 RO toulousain – lire leurs témoignages sous l'onglet « Perspectives et carrières » du site web du M2 RO : <http://m2ro.recherche.enac.fr/>.

4 Compétences

À l'issue de cette formation, l'étudiant sera capable de :

- Formuler, analyser et modéliser des problèmes réels
- Reconnaître à quelle grande catégorie de problèmes d'optimisation ils appartiennent
- Estimer la complexité d'un problème d'optimisation
- Argumenter des choix de modélisation ou d'approches d'optimisation
- Proposer des méthodes d'optimisation ou d'aide à la décision adaptées au contexte
- Implémenter des algorithmes de résolution
- Mener des campagnes de tests numériques
- Analyser les retours d'expérience en vue d'ajuster le modèle et/ou la méthode de résolution

5 Connaissances

Au cours de cette formation, les étudiants acquerront des connaissances dans les domaines suivants :

- modélisation mathématique
- complexité
- théorie des graphes
- optimisation numérique
- optimisation combinatoire
- optimisation globale
- méta-heuristiques
- optimisation mixte avec variables entières
- optimisation sous incertitude
- programmation par contraintes
- applications de l'industrie et des services et au transport aérien en particulier

6 Équipe pédagogique

On compte de nombreux spécialistes de RO sur la place toulousaine. Le M2 RO est adossé au groupe informel de recherche toulousain TORO <http://www.toro-toulouse.fr/>. L'équipe pédagogique du M2 RO est constituée essentiellement d'enseignants/chercheurs provenant de huit établissements différents (UPS, UT1-Capitole, ENAC, INPT-ENSEEIH, INPT-ENSIACET, INSA de Toulouse, ISAE-SUPAERO et TBS) et des laboratoires de recherche : ICA, IMT, IRIT, IRT St-Exupéry, ITAV, LAAS-CNRS, Laplace, INRA, Optim-ENAC et TSE. Un collègue de l'Université de Montréal et des industriels d'Airbus Defense & Space, d'Airbus et de LocalSolver en font également partie.

- Cyril Allignol (ENAC)
- Christian Artigues (CNRS)
- Nicolas Barnier (ENAC)
- Fabian Bastin (Université de Montréal)
- Lotte Berghman (TBS)
- Alain Berro (UT1)
- Christian Bès (UPS)
- Loïc Boussouf (Airbus Defence & Space)
- Cyril Briand (UPS)
- Florian Bugarin (UPS)
- Sonia Cafieri (ENAC)
- Mikaël Capelle (IRT St-Exupéry)
- Nicolas Couellan (UPS)
- Julien Darlay (LocalSolver)
- Simon de Givry (INRA)
- Frédéric de Gournay (INSA)
- Daniel Delahaye (ENAC)
- Nicolas Durand (ENAC)

- Pascal Floquet (INPT-ENSIACET)
- Frédéric Gardi (LocalSolver)
- David Gianazza (ENAC)
- Serge Gratton (INPT-ENSEEIH)
- Alain Hait (ISAE-SUPAERO)
- Emmanuel Hébrard (CNRS)
- Gilles Hétreux (INPT-ENSIACET)
- Jean-Baptiste Hiriart-Urruty (UPS)
- Laurent Houssin (UPS)
- Marie-José Huguet (INSA)
- Sophie Jan (UPS)
- Jean Bernard Lasserre (CNRS)
- Pierre Lopez (CNRS)
- Estelle Malavolti (TSE - ENAC)
- Catherine Mancel (ENAC)
- Pierre Maréchal (UPS)
- Frédéric Messine (INPT-ENSEEIH)
- Julien Moncel (IUT-Rodez)
- Marcel Mongeau (ENAC)
- Sandrine Mouysset (UPS)
- Stéphane Negny (INPT-ENSIACET)
- Sandra Ulrich Ngueveu (INPT-ENSEEIH)
- Stéphane Puechmorel (ENAC)
- Emmanuel Rachelson (ISAE-SUPAERO)
- Aude Rondepierre (INSA)
- Mohamed Sbihi (ENAC)
- Sergei Soloviev (UPS)
- Martin Strecker (UPS)
- Pierre Weiss (CNRS)

7 Conseil de perfectionnement

Les personnes suivantes forment un bureau où s'initient les propositions d'amélioration du M2 RO :

- Christian Artigues (LAAS-CNRS)
- Loïc Boussouf (Airbus Defense & Space)
- Alain Hait (ISAE-SUPAERO)
- Laurent Houssin (UPS)
- Jean-Baptiste Hiriart-Urruty (UPS)
- Marie-José Huguet (INSA-GEI)
- Marcel Mongeau (ENAC)
- Catherine Mancel (ENAC)
- Stéphane Negny (INPT-ENSIACET)
- Sandra Ngueveu (INPT-ENSEEIH)

- Aude Rondepierre (INSA-GMM)
- Mohammed Sbihi (ENAC)

8 Partenariat avec Montréal

Le M2 RO bénéficie d'un partenariat privilégié avec Montréal via les deux laboratoires de recherche CIRRELT (Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'entreprise, la Logistique et le Transport) et GÉRAD (Groupe d'Études et de Recherche en Aide à la Décision). Ces deux grands laboratoires de recherche constituent une partie importante du nouvel Institut de valorisation des données (IVADO). En plus d'être un des principaux centres mondiaux de recherche et de formation dans le domaine de la RO, Montréal est la 3e capitale de l'aéronautique (siège de Bombardier, de l'OACI et de l'AITA), en phase avec la couleur aéronautique du M2 RO toulousain. Chaque année des étudiants font leur stage recherche à Montréal et certains poursuivent en thèse là-bas. Des visites scientifiques réciproques de professeurs ont également lieu régulièrement.

9 Cursus

Cette section est pertinente pour les étudiants s'inscrivant à l'Université Paul Sabatier. Les élèves-ingénieurs des écoles d'ingénieurs toulousaines co-accréditant le M2 RO s'inscrivant en double diplôme doivent se reporter à l'annexe C.

9.1 M1

La partie M1 du parcours RO est entièrement confondue avec le M1 du parcours suivant :

- parcours SID (Statistique et informatique décisionnelle), lorsque l'étudiant s'inscrit dans la mention Informatique ;
- parcours MAPI3 (Mathématiques appliquées pour l'ingénierie, l'industrie et l'innovation), lorsque l'étudiant s'inscrit dans la mention Mathématiques et applications

9.2 M2

Les acronymes à trois lettres décrivant chaque UE utilisés ici sont définis en annexes A et B.

9.2.1 1er semestre (30 ECTS)

Le détail se trouve en annexe A.

- 7 UE obligatoires de tronc commun : GRA, INC, SOG, TCO, APP, OCA, OGD
- une option (sous-parcours) parmi les 3 possibilités suivantes :
 1. GPE et CRV
 2. PPC et CMP

3. FRO (6 ECTS)

L'option est déterminée par l'équipe pédagogique du M2 RO au vu du dossier de chaque étudiant avant ou à la réunion de rentrée.

Ainsi, durant le premier semestre, les étudiants suivront des UE scientifiques totalisant 27 ECTS. S'ajoutera une UE supplémentaire d'anglais (3 ECTS) obligatoire, assurée par l'UPS ou l'école pour les élèves-ingénieurs en double diplôme.

9.2.2 2nd semestre (30 ECTS)

Le détail se trouve en annexe B.

Le 2nd semestre consiste en :

- une UE « **RO appliquée** » (**ROA** – 3 ECTS)
- Un **projet tuteuré** (**PRJ** – 3 ECTS)
- Un **stage** (**STA** – 24 ECTS).

9.2.3 Mutualisation inter-établissement

Parmi les 15 cours du M2 RO, 9 UE sont mutualisées avec des cursus existants :

- 5 à l'ENAC
- 2 à l'INPT-ENSIACET
- 1 à l'ISAE-SUPAERO
- 1 à l'UPS (MAPI3),

et 6 UE sont été créées (financées) spécifiquement pour le M2 RO :

- 4 à l'ENAC
- 1 à l'ISAE-SUPAERO
- 1 à l'UPS (Département d'informatique).

A Les UE proposées au 1er semestre du M2

Cette annexe présente le contenu des UE scientifiques proposées au 1er semestre du M2. À la suite de chaque intitulé, le nombre d'ECTS correspondant est indiqué (en fait, chaque UE représente 3 ECTS sauf pour l'UE FRO valant 6 ECTS), suivi, s'il y a lieu d'un des codes suivants :

- **R** : UE orientée Recherche
- **P** : UE orientée Pré-professionnalisation
- **2** : UE préférablement placée en 2de moitié du 1er semestre (suite aux acquis des autres UE).

Dans la liste qui suit, le nom de l'enseignant apparaissant entre parenthèses est le responsable (point de contact) pour cet enseignement au moment de la demande de co-accréditation.

A.1 Fondamentaux de la RO (FRO - 6 ECTS - P)

30h C + 30h TP

Syllabus :

- Généralités, modélisation
- Programmation linéaire :
 - méthode du simplexe
 - dualité
 - analyse de sensibilité
 - écarts complémentaires
 - modélisation : régression moindres valeurs absolues, rendements d'échelle décroissants
- Introduction à la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) :
 - introduction
 - exemple du problème du voyageur de commerce
 - relaxation continue
 - problèmes de graphes
 - modélisation
 - survol des méthodes

[Mutualisé avec le cours « Optimisation et recherche opérationnelle » du M2 MAPI3 (Mathématiques Appliquées pour l'Ingénierie, l'Industrie et l'Innovation) du Département de mathématiques de l'UPS]

A.2 Graphes et réseaux : modélisation et algorithmes (GRA - 3 ECTS)

20h C

Syllabus :

Définitions élémentaires de la théorie des graphes. Arbres (récursions et décompositions, arbre couvrant de poids minimal). Problèmes de coloration (algorithmes précis et approximatifs; algorithmes pour des classes spécifiques, par exemple graphes planaires), problèmes de cheminements (plus courts chemins, Dijkstra, Bellman), problèmes de flots (Ford et Fulkerson, flots de coût minimal), problème du voyageur de commerce.

[Créé (financé) par le département d'informatique de l'UPS]

A.3 Sujets spéciaux en optimisation (SSO - 3 ECTS - 2 R)

20h C

Syllabus :

Ce cours est donné par un professeur invité en séjour dans un des laboratoires de recherche associés au M2 RO sur une thématique recherche propre au domaine d'expertise du visiteur.

En 2014-2015 par exemple le sujet était l'Optimisation stochastique et ce cours a été donné par le Professeur Fabian Bastin de l'Université de Montréal - CIRRELT lors de son séjour sabbatique à l'ENAC).

[Financé par l'établissement ou la laboratoire d'accueil du chercheur invité]

A.4 Optimisation combinatoire avancée (OCA - 3 ECTS - 2 R)

20h C

Sujets avancés en optimisation discrète Méthodes de décomposition : Décomposition de Benders Décomposition de Dantzig-Wolfe Génération de colonnes et algorithme de branch & price Décomposition lagrangienne Mise en oeuvre informatique

[Créé (financé) par l'ISAE-SUPAERO]

A.5 Méthodes stochastiques pour l'optimisation globale (SOG - 3 ECTS - R)

14h C + 10h TP + 1h examen

Syllabus :

Ce cours a pour but de présenter les méthodes d'optimisation globale utilisant des principes stochastiques pour se déplacer dans l'espace d'état. Les thèmes abordés dans ce cours sont les suivants :

- Méthodes de base : énumération, bombardement stochastique
- Recuit simulé (équilibre statistique, modèles markoviens homogènes et in-homogènes, convergence, principes de refroidissement, exemples d'application)
- Statistiques d'ordre : application à l'optimisation globale (branch and probability bound)
- Méthode tabou (principe d'intensification, principe d'aspiration, etc...)
- Évolution artificielle (principes de codage, méthodes de sélection, opérateurs de croisement, opérateurs de mutation, convergence prématurée, mise à l'échelle, crowding, recherche de plusieurs optima par sharing, évolution artificielle multi-objectif, évolution artificielle et statistiques d'ordre).
- Particle Swarm Optimization (PSO)
- Algorithmes d'estimation de distribution (EDA)
- Introduction à l'optimisation en espace de dimension infinie

L'enseignement est structuré en cours, TD et TP sur machine.

[Mutualisé avec le cours du même nom de la 3e année ENAC]

A.6 Optimisation sous incertitude (INC - 3 ECTS 2 P)

28h C + 2h examen

Syllabus :

Optimisation robuste continue : modélisation des incertitudes, critères de robustesse, propagation des incertitudes, quantification des risques (chance constraints), sensibilité globale aux incertitudes, optimisation robuste.

Optimisation robuste discrète : scénarios d'incertitude, programmation linéaire en nombres entiers robuste, complexité et algorithmes pour l'optimisation combinatoire robuste (flots et réseaux, sac à dos, ordonnancement), prix de la robustesse, méthodes approchées et études de cas pratiques.

[Mutualisé avec le cours du même nom de la 3e année ENAC]

A.7 Optimisation globale déterministe (OGD - 3 ECTS - 2 R)

18C + 2h TP

Syllabus :

Introduction à l'optimisation globale déterministe. Analyse par intervalles. Optimisation non-linéaire mixte en nombres entiers.

[Créé (financé) par l'ENAC]

A.8 Complexité (CMP - 3 ECTS)

20h C + 3h examen

Syllabus :

Objectifs : Estimation des temps de calcul et consommation mémoire des algorithmes classiques non-récurrents et récurrents. Caractérisation des problèmes de la classe NP et preuves de NP-complétude, résolution par des méthodes approchées.

La notion de complexité des algorithmes est centrale à l'informatique moderne. Elle permet d'estimer les quantités de ressources (temps, espace) que l'exécution d'un programme utilisera en fonction de la taille des données. La première partie du cours est consacrée à l'analyse des algorithmes classiques, non-récurrents et récurrents, pour évaluer leur complexité en pire cas ou en moyenne, en temps et en espace : comptage de boucles, arbre d'exécution et de décision, dénombrement, méthode Master... La seconde partie traite de la classe des problèmes NP à partir du modèle de calcul de la machine de Turing. Les problèmes NP-complets sont introduits avec le théorème de Cook et les problèmes classiques de logiques, sur les ensembles, les graphes etc. sont détaillés. La notion fondamentale de réduction polynomiale entre problèmes est alors explorée de manière approfondie. Une topologie des classes de problèmes et de la hiérarchie polynomiale de classes peut alors être dégagée. Enfin, une approche plus pragmatique de la résolution des problèmes d'optimisation « difficiles » est présentée avec les schémas d'approximation polynomiaux, ainsi que la recherche systématique et approchée.

[Mutualisé avec le cours du même nom de la 3e année ENAC]

A.9 Programmation par contraintes (PPC - 3 ECTS - P)

10h C + 12h TP + 2h examen TP

Syllabus :

La Programmation Par Contraintes (PPC) est un paradigme de programmation issu de la Programmation Logique qui permet de modéliser simplement de nombreux problèmes d'optimisation combinatoire, omniprésents dans l'industrie et les services, et de les résoudre efficacement.

Le cours présente tout d'abord le formalisme générique des Problèmes de Satisfaction de Contraintes (CSP) puis les algorithmes fondamentaux qui permettent de les résoudre de manière exacte : la cohérence d'arc (et de borne) ainsi que le Branch & Prune et le Branch & Bound associés aux stratégies classiques de résolution. La bibliothèque Fa-CiLe pour OCaml sert ensuite de support pour décrire la structure d'un programme en contraintes sur les domaines finis dans le cadre d'un langage généraliste de haut niveau,

en détaillant la construction des buts de recherche (sous-but, récursivité, itérateurs, optimisation, stratégies...), les contraintes globales, la réification de contraintes, la création de contraintes utilisateur, etc. en analysant l'impact de la modélisation et de la prise en compte des symétries sur l'efficacité de la résolution.

[Mutualisé avec le cours du même nom de la 3e année ENAC]

A.10 Thèmes contemporains en optimisation (TCO - 3 ECTS - 2 R)

20h C + 2h examen

Syllabus :

Modélisation, prise en compte de l'incertitude, aspects théoriques de l'optimisation globale, optimisation convexe moderne (sous-différentiel et application prox), pré-requis pour l'apprentissage statistique et autres applications.

[Créé (financé) par l'ENAC et mutualisé avec le M2R Mathématiques et applications]

A.11 Algorithmes en Apprentissage Artificiel (APP - 3 ECTS 2)

26h C

Syllabus : Élaborer des machines numériques, des algorithmes, qui évoluent et apprennent à partir d'exemples est le but de la discipline de l'Apprentissage Artificiel. L'apprentissage supervisé en particulier s'intéresse à la question d'associer des mesures observées (par exemple des pixels d'une image, des mots dans un e-mail, des mesures de température) à une valeur discrète (l'image représente-t-elle un « 1 » ou un « 7 » ?, l'e-mail est-il un spam ?) ou continue (quelle sera la demande électrique ?), de façon à construire une fonction de prédiction qui généralise l'information obtenue à partir des données. On abordera ainsi les tâches de classification automatique supervisée, de régression et on fera une brève incursion dans le paysage de l'apprentissage non-supervisé, au travers des grandes familles d'algorithmes suivants : - Apprentissage bayésien naïf - Machines à Vecteurs Supports et méthodes à noyaux - Processus Gaussiens - Réseaux de Neurones - Deep Learning - Arbres de Décision - Boosting, Bagging et Forêts aléatoires.

[Mutualisé avec le cours « Algorithmes en apprentissage artificiel » de 3e année GI du Département Mathématiques, Informatique et Automatique de l'ISAE-SUPAERO]

A.12 Gestion intégrée de la production et de l'énergie (GPE - 3 ECTS - P)

20h C

Syllabus :

L'objectif est le développement de modèles PLM généraux traitant des problèmes couplant le pilotage de la production (niveau planification et ordonnancement) et la gestion de l'énergie (notamment la gestion des utilités comme l'électricité, la vapeur, l'eau surchauffée, le froid, etc.) Les TP associés s'appuient sur des formulations de programmation

linéaire mixte associés à des graphes pour résoudre différents cas d'étude. La mise en oeuvre est réalisée avec ILOG Solver (IBM).

[Mutualisé avec un cours de 3e année de la formation Efficacité Énergétique des Procédés (2EP) de l'INPT-ENSIACET]

A.13 Conception de réseaux de valorisation (CRV - 3 ECTS P)

17h

Syllabus :

Ce cours se subdivise en deux parties :

1. **Trajectoire de valorisation et logistique.** L'objectif est d'écrire un modèle d'une chaîne logistique pour la localisation de centres de stockage et d'ateliers de production. Le modèle prend en considération des contraintes de capacité (taille du stockage, capacité de traitement des ateliers), du choix de la technologie, de la saisonnalité de la matière première ainsi que son altération dans le temps. Le modèle développé permet également d'introduire l'approche multi périodes.
2. **Conception de réseaux d'échangeurs de chaleur.** Cette partie correspond principalement à un TD long concernant la conception de réseaux d'échangeurs. Il ne nécessite qu'un minimum d'apport « procédés » (équations modèle d'un échangeur de chaleur à contre-courant), se place dans l'aspect énergétique et développe les aspects Superstructure sous le logiciel de modélisation GAMS.

[Mutualisé avec un cours de 3e année de la formation Efficacité Énergétique des Procédés (2EP) de l'INPT-ENSIACET]

B Les UE proposées au 2nd semestre du M2

Cette annexe présente le contenu des UE scientifiques proposées au 2nd semestre du M2. À la suite de chaque intitulé, le nombre d'ECTS correspondant est indiqué.

Dans la liste qui suit, le nom de l'enseignant apparaissant entre parenthèses est le responsable (point de contact) pour cet enseignement au moment de la demande de co-accréditation.

B.1 RO appliquée (ROA - 3 ECTS)

Syllabus :

- une introduction à de nombreuses applications industrielles et à un logiciel de modélisation et d'optimisation (LocalSolver) avec travaux pratiques sur machine. 4h C + 8h TP.
- rédaction d'un rapport scientifique à rendre deux semaines après le 1er mois de stage ; ce rapport met en évidence la nature recherche du stage, décrit la problématique, propose une revue de littérature et les pistes envisagées.

[Créé (financé) par l'ENAC]

B.2 Projet tuteuré (PRJ - 3 ECTS)

Responsable : Cyril Allignol cyril.allignol@enac.fr

Projet tuteuré en recherche opérationnelle dans un laboratoire de recherche académique incluant la mise en oeuvre informatique d'une méthode d'optimisation sur un problème inspiré d'une application réelle. Représente environ 75h de travail personnel pour l'étudiant.

[Créé (financé) par l'ENAC]

B.3 Stage (STA - 24 ECTS)

Stage orienté recherche de 5 ou 6 mois dans le domaine de la Recherche opérationnelle dans un laboratoire de recherche publique ou dans un service de recherche et développement (R&D) d'une entreprise, en France ou à l'étranger, conduisant à la production d'un **rapport scientifique**. Le stage peut se dérouler jusqu'en septembre. La **soutenance** orale a généralement lieu en septembre. Mots-clés : Définition formelle d'un problème de Recherche opérationnelle, modélisation mathématique, algorithme, mise en oeuvre informatique, campagne d'expérimentations numériques, analyse des résultats, ajustement de paramètres, rebouclages avec : le problème initial, sa modélisation et l'algorithme de résolution.

C Inscription en double diplôme en école d'ingénieurs

Le parcours est aménagé pour les élèves en dernière année d'une des écoles d'ingénieurs : ENAC, INPT-ENSEEIHT et INPT-ENSIACET, INSA-Toulouse, ISAE-SUPAERO.

Au 1er semestre, l'élève doit suivre au moins 12 ECTS du M2 RO en dehors de son cursus école d'origine (ou 9 ECTS du M2 RO en dehors de son cursus école d'origine plus un projet de recherche / rapport bibliographique comptant pour 3 ECTS). Selon les écoles, des décharges de cours du cursus école lui sont accordées.

Au 2nd semestre, son stage de recherche compte aussi pour son stage de fin d'étude d'école (soutenance unique et commune). Ce stage doit satisfaire les mêmes exigences que le stage des étudiants en mono-inscription à l'UPS.

C.1 ENAC

Contact école du M2 RO : mohammed.sbihi@enac.fr

UE M2 RO hors cursus école à suivre : OGD, OCA, TCO, ROA

C.2 INPT-ENSIACET

Contact école du M2 RO : stephane.negny@ensiacet.fr

UE M2 RO hors cursus école à suivre : OGD, OCA, TCO

C.3 INPT-ENSEEIHT

Contact école du M2 RO : sandra.ngueveu@enseeiht.fr

UE M2 RO hors cursus école à suivre : OGD, OCA, TCO.

En plus de ces 3 UE, les élèves INPT-ENSEEIHT doivent rendre un rapport scientifique (correspondant à 3 ECTS).

C.4 INSA de Toulouse

Contact école du M2 RO : aude.rondepierre@insa-toulouse.fr (département GMM) et huguet@laas.fr (département GEI).

L'INSA ne co-accréditant pas le M2 RO (il y a néanmoins une convention entre l'UPS et l'INSA), **les élèves de l'INSA doivent s'inscrire à l'UPS.**

UE M2 RO hors cursus école à suivre :

— élèves du GEI : OGD, OCA, TCO, ROA

— élèves du GMM : FRO et deux UE parmi : OGD, OCA, TCO.

C.5 ISAE-SUPAERO

Contact école du M2 RO : alain.hait@isae.fr

UE M2 RO hors cursus école à suivre : OGD, OCA, TCO.

En plus de ces 3 UE, les élèves ISAE-SUPAERO doivent rendre un rapport scientifique (correspondant à 3 ECTS).