

Syllabus FISE A3 2026/2027 ISAE-ENSMA



Semestre 5 – Aérodynamique

5th Semester – Aerodynamics

Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient
UE5-1 Filière AET1 – First Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer										(4 ECTS)		
Aérodynamique de l'aile – Blade Aerodynamics	AEA	25		11	1				1	4		
Turbulence – Turbulence	TUR	25		11	1			1				1,00
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1			0,5				1,00
		62,5		27								
UE5-2 Filière AET2 – Second Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer										(4 ECTS)		
Combustion – Combustion	COB	25		11	1				1	4		
Modélisation thermique – Thermal modelling	MOD	25		11	1			1				1,00
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1			0,5				1,00
		62,5		27								
UE5-3 Option Aérodynamique AER – Aerodynamics Option										(7 ECTS)		
Aéroacoustique – Aeroacoustics	AAC	20		8	1				0,75	7		
Aérodynamique haute vitesse – High-speed Aerodynamics	AHV	20		8	1				0,75			
Turbomachines – Turbomachinery	TBM	20		8	1				0,75			
Interaction fluide/structure – Fluid-structure interaction	IFS	20		8	1				0,75			
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5			
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5			
		105		42								
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment										(11 ECTS)		
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3	11		1,50
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1			0,50
Travaux pratiques – Lab works	TPR	28		10		1			2			
		133,00	45,00	37,00								
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Languages										(3 ECTS + 1* LV2)		
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1	3		0,50
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2			0,50
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)			
		35,00	-	11,00								
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture										(1 ECTS + 1 VAE)		
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20						1		
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE											
				20,00								
TOTAL		398,00	45,00	128,00						(30 + 1* ECTS)	4,00	3,00

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 – Energétique 5th Semester – Energetics



Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient	
UE5-1 Filière AET1 – First Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer											(4 ECTS)	UES-1AAET (8 ECTS)	UES-2AAET (7 ECTS)
Aérodynamique de l'aile – Blade Aerodynamics	AEA	25		11	1				1	4		1,00	
Turbulence – Turbulence	TUR	25		11	1				1			1,00	
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1				0,5				
		62,5		27,00									
UE5-2 Filière AET2 – Second Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer											(4 ECTS)		
Combustion – Combustion	COB	25		11	1				1	4		1,00	
Modélisation thermique – Thermal modelling	MOD	25		11	1				1			1,00	
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1				0,5				
		62,5		27,00									
UE5-3 Option Energetique ENR – Energetic Option											(7 ECTS)		
Détonations et explosions – Detonations and explosions	DTE	15		8	1				0,75	7			
Ondes de choc – Shock waves	ONC	21,25		8	1				0,75				
Turbulence en combustion – Turbulence in combustion	TTC	18,75		8	1				0,75				
Propulsion – Propulsion	PRO	25		8	1				0,75				
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5				
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5				
		105		42,00									
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment											(11 ECTS)		
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3	11		1,50	
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1			0,50	
Travaux pratiques – Lab works	TPR	28		10		1			2				
		133,00	45,00	37,00									
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Languages											(3 ECTS + 1* LV2)		
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1	3		0,50	
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2			0,50	
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**)	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)				
		35,00	-	11,00									
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture											(1 ECTS + 1 VAE)		
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20						1			
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE												
				20,00							4,00	3,00	
TOTAL		398,00	45,00	128,00						(30 + 1* ECTS)			

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 – Thermique

5th Semester – Heat transfer



Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient
UE5-1 Filière AET1 – First Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer										(4 ECTS)
Aérodynamique de l'aile – Blade Aerodynamics	AEA	25		11	1				1	4
Turbulence – Turbulence	TUR	25		11	1			1		
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1			0,5		
		62,5		27,00						
UE5-2 Filière AET2 – Second Courses Unit Aerodynamics, Energetics, Heat transfer										(4 ECTS)
Combustion – Combustion	COB	25		11	1				1	4
Modélisation thermique – Thermal modelling	MOD	25		11	1			1		
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1			0,5		
		62,5		27,00						
UE5-3 Option Thermique THE – Heat transfer Option										(7 ECTS)
Centrales thermiques – Thermal power plants	CTH	12,5		5	1				0,5	7
Echangeurs aérospatiaux – Aerospace heat exchangers	EAE	12,5		5	1			0,5		
Systèmes diphasiques – Two-phase systems	SDI	25		7	1			0,75		
Transferts convectifs en situations complexes – Convection heat transfer in complex situations	TCC	25		7	1			0,75		
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1			0,5		
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1			0,5		
		100		34						
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment										(11 ECTS)
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3	11
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1	
Travaux pratiques – Lab works	TPR	28		10		1		2		
		133,00	45,00	37,00						
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Languages										(3 ECTS + 1* LV2)
Education physique et sportive – Sport**	EPS	12,5						1	1	3
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2	
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)	
		35,00		-					11,00	
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture										(1 ECTS + 1 VAE)
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20						1
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE									
				20,00						
TOTAL		393,00	45,00	120,00						(30 + 1* ECTS)

Semestre S5A	
Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient
UE5-1AAET (8 ECTS)	UE5-2AAET (7 ECTS)
	1,00
	1,00
	1,00
	1,00
	1,50
	0,50
	0,50
	0,50
	4,00
	3,00

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 – Structures

5th Semester – Structures

Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Semestre S5A				
											Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient			
UE5-1 Filière SMA1 – First Courses Unit Structures, Advanced Materials (5 ECTS)											UE5-1ASMA (8 ECTS)	UE5-2ASMA (7 ECTS)			
Modélisation par éléments finis – Finite element modelling	MFI	25		11	1				1	5					
Plasticité – Plasticity	PLA	26,25		12	1				1			1,00			
Analyse expérimentale en mécanique – Experimental mechanics	AEM	11,25		5	1				0,5			1,00			
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1				0,5						
		75,00	-	33,00											
UE5-2 Filière SMA2 – Second Courses Unit Structures, Advanced Materials (5 ECTS)															
Propriétés mécaniques des matériaux métalliques – Mechanical Properties of Metallic Materials	PMM	25		11	1				1	5	1,00				
Rupture – Fracture Mechanics	RUP	11,25		5	1				0,5		0,50				
Fatigue – Fatigue	FAT	10		5	1				0,5						
Stratifiés composites – Laminated composites	SCO	15		7	1				0,5		0,50				
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1				0,5						
		73,75	-	33,00											
UE5-3 Option Structures STR – Structures Option (5 ECTS)															
Endommagement – Damage mechanics	END	16,25		8	1				0,75	5					
Grandes déformations – Finite Strains	DEF	13,75		6	1				0,75						
Structures aéronautiques – Aeronautical structures	STA	22,5		10	1				1						
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5						
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5						
		77,50	-	24,00											
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment (11 ECTS)															
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3	11	1,50				
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1		0,50				
Travaux pratiques – Lab works	TPR	30		10		1			2						
		135,00	45,00	37,00											
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Languages (3 ECTS + 1* LV2)															
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1	3		0,5			
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2		0,50				
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)						
		35,00	-	11,00											
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture (1 ECTS + 1 VAE)															
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20						1					
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE														
		20,00													
TOTAL											4	3,00			
		396,25	45,00	138,00									(30 + 1* ECTS)		

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 - Matériaux Avancés

5th Semester – Advanced Materials

Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Semestre S5A		
											Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient	
UE5-1 Filière SMA1 – First Courses Unit Structures, Advanced Materials (5 ECTS)											UE5-1ASMA (8 ECTS)	UE5-2ASMA (7 ECTS)	
Modélisation par éléments finis – Finite element modelling	MFI	25		11	1				1	5			
Plasticité – Plasticity	PLA	26,25		12	1				1			1,00	
Analyse expérimentale en mécanique – Experimental mechanics	AEM	11,25		5	1				0,5			1,00	
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1				0,5				
		75,00	-	33,00									
UE5-2 Filière SMA2 – Second Courses Unit Structures, Advanced Materials (5 ECTS)													
Propriétés mécaniques des matériaux métalliques – Mechanical Properties of Metallic Materials	PMM	25		11	1				1	5	1,00		
Rupture – Fracture Mechanics	RUP	11,25		5	1				0,5		0,50		
Fatigue – Fatigue	FAT	10		5	1				0,5				
Stratifiés composites – Laminated composites	SCO	15		7	1				0,5		0,50		
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1				0,5				
		73,75	-	33,00									
UE5-3 Option Matériaux Avancés STR – Advanced Materials Option (5 ECTS)													
Analyse microstructurale des matériaux – Microstructural analysis of Materials	AMM	25		11	1				1	5			
Polymères – Polymers	POL	12,5		5	1				0,5				
Revêtements – Coatings	REV	15		7	1				0,5				
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5				
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5				
		77,50	-	33,00									
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment (11 ECTS)													
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3	11	1,50		
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7					1		0,50		
Travaux pratiques – Lab works	TPR	30		10		1			2				
		135,00	45,00	37,00									
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Language (3 ECTS + 1* LV2)													
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1	3		0,5	
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2		0,50		
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)				
		35,00	-	11,00									
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture (1 ECTS + 1 VAE)													
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20						1			
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE												
				20,00								4,00	3,00
TOTAL		396,25	45,00	147,00								(30 + 1* ECTS)	

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 – Systèmes

5th Semester – Avionics Systems

Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Semestre S5A			
											Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient		
UE5-1 Filière IAV1 – First Courses Unit Computer Science, Avionics (5 ECTS)											UE5-1AIA (8 ECTS)	UE5-2AIA (7 ECTS)		
Architecture Logicielle – Software architecture	ARL	15		7	1				0,75			0,75		
Conception Logicielle – Database Design	COL	30	24	14	1				1,5			1,50		
Vérification et Validation Logicielle – Software Verification & Validation	VVL	15		7	1				0,75			0,75		
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1				0,5					
		72,50	24,00	33,00										
UE5-2 Filière IAV2 – Second Courses Unit Computer Science, Avionics (5 ECTS)														
Automatique pour l'Avionique – Flight control automation	AAV	20		9	1				1					
Ingénierie des Modèles – Model-Based Systems Engineering	IDM	20		9	1				1		1,00			
Interfaces Hommes-Systèmes – Human-system interaction	IHS	25		11	1				1		1,00			
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1				0,5					
		77,50	-	34,00										
UE5-3 Option Systèmes – Avionics systems option (5 ECTS)														
Programmation Embarquée – Programming embedded systems	PEM	15		7	1				0,75					
Validation Temporelle – Temporal validation	VAT	17,5		7	1				0,75					
Simulation des Systèmes Embarqués – Embedded systems simulation	SSE	12,5		5	1				0,5					
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5					
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5					
		70,00	-	19,00										
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment (11 ECTS)														
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3		1,50			
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1		0,50			
Travaux pratiques – Lab works	TPR	35		10		1			2					
		140,00	45,00	37,00										
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Language (3 ECTS + 1* LV2)														
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1			0,50		
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2		3	0,50		
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**)	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)					
		35,00	-	11,00										
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture (1 ECTS + 1 VAE)														
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20							1			
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE													
		20,00												
TOTAL		395,00	69,00	134,00							(30 + 1* ECTS)	4,00	4,00	

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Semestre 5 – Données 5th Semester – Data Science

Matière – Course Module	Code Code	Horaire encadré Supervised hours (h)	Horaire autonomie Unsupervised hours (h)	Horaire travail personnel – Personal work (h)	Ecrit Written Exam	T.P. Practical Work	Projet Project	Continu Continuous Assessment	Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient UE Courses unit coefficient	Semestre S5A		
											Coefficient matière Course module coefficient	Coefficient matière Course module coefficient	
UE5-1 Filière IAV1 – First Courses Unit Computer Science, Avionics (5 ECTS)											UE5-1AIA (8 ECTS)	UE5-2AIA (7 ECTS)	
Architecture Logicielle – Software architecture	ARL	15		7	1				0,75			0,75	
Conception Logicielle – Database Design	COL	30	24	14	1				1,5			1,50	
Vérification et Validation Logicielle – Software Verification & Validation	VVL	15		7	1				0,75			0,75	
Cours électif 1 – Elective course 1	CE1	12,5		5	1				0,5				
		72,50	24,00	33,00									
UE5-2 Filière IAV2 – Second Courses Unit Computer Science, Avionics (5 ECTS)													
Automatique pour l'Avionique – Flight control automation	AAV	20		9	1				1				
Ingénierie des Modèles – Model-Based Systems Engineering	IDM	20		9	1				1		1,00		
Interfaces Hommes-Systèmes – Human-system interaction	IHS	25		11	1				1		1,00		
Cours électif 2 – Elective course 2	CE2	12,5		5	1				0,5				
		77,50	-	34,00									
UE5-3 Option Données DON – Data science option (5 ECTS)													
Données Intelligentes – Smart Data	DOI	15		7	1				0,75				
Fouille de Données et Apprentissage – Datamining and Machine Learning	FDA	30		7	1				1,5				
Cours électif 3 – Elective course 3	CE3	12,5		5	1				0,5				
Cours électif 4 – Elective course 4	CE4	12,5		5	1				0,5				
		70,00	-	14,00									
UE5-4 Aérotechnique et environnement AEE5 – Aerotechnics and environment (11 ECTS)													
Bureau d'études – Advanced Design Project	BET	90	30	20			1		3		1,50		
Projet innovation et développement durable – Innovation and Sustainable Development Project	PID	15	15	7			1		1		0,50		
Travaux pratiques – Lab works	TPR	35		10		1			2				
		140,00	45,00	37,00									
UE5-5 Formation Humaine et Langues FHL5 – Social Sciences and Foreign Language (3 ECTS + 1* LV2)													
Education physique et sportive – Sport***	EPS	12,5						1	1			0,50	
Professional communication – Professional communication (English version)	PRC	22,5		11				1	2		3	0,50	
Langue vivante II – Second Foreign Language (facultatif – Optional)**)	LV2	(30)		(15)				1	(0,5)				
		35,00	-	11,00									
UE5-6 Culture professionnelle et citoyenne CPC5 – Civic and Professional Culture (1 ECTS + 1 VAE)													
participation à au moins 75% des activités (liste distribuée en début de semestre) – participation to at least 75% of activities (list distributed at the beginning of the semester)	CPC			20							1		
validation des activités extra scolaires (facultatif)	VAE												
				20,00									
TOTAL		395,00	69,00	129,00							(30 + 1* ECTS)	4,00	4,00

* 1 ECTS pour Langue vivante II facultative – 1 ECTS for taking an optional second language class

** note inférieure à 10 prise en compte uniquement si plus de 20% d'absence en cours – grade under 10 taken into account only if more than 20% absences for the class

*** dans le cas d'une dispense médicale au semestre, une langue vivante II est fortement conseillée, sinon, la note d'EPS est neutralisée – In the case of a medical exemption during the semester, a second language is strongly recommended; otherwise, the sports grade is neutralized.

Année scolaire 2026/2027 – Academic year 2026/2027

Semestre 6 – 6th Semester



Matière <i>Course Module</i>	Code <i>Code</i>	Maître de stage <i>Internship supervisor's grade</i>	Jury <i>Jury's grade</i>	Coefficient UE <i>Courses unit coefficient</i>
UE6-1 Stage immersion SIM6 – Second-year internship				(13 ECTS)
Rapport et soutenance Stage Assistant Ingénieur – Report and defense of the Second-year internship	STI	1	2	1
UE6-2 Projet de fin d'études PFE6 – Graduation internship				(17 ECTS)
Rapport et soutenance Projet de fin d'études – Report and defense of the graduation internship	PFE	1	2	1

TOTAL

30 ECTS

Année scolaire 2026/2027 – Academic year 2026/2027

Semestre 6 – 6th Semester



Stage long étudiants en substitution

Matière <i>Course Module</i>	Durée <i>Duration</i>	ECTS	Maître de stage <i>Internship supervisor's grade</i>	Jury <i>Jury's grade</i>	Coefficient UE <i>Courses unit coefficient</i>
UE-SL Stage long STL					
Rapport et soutenance Stage long – Report and defense long stage	STL	1 semestre	30	1	2
			30		

Stage court étudiants en substitution

Matière <i>Course Module</i>	Durée <i>Duration</i>	ECTS	Maître de stage <i>Internship supervisor's grade</i>	Jury <i>Jury's grade</i>	Coefficient UE <i>Courses unit coefficient</i>
UE-SC Stage court STC					
Rapport et soutenance Stage long – Report and defense short stage	STC	3 à 4 mois	17	1	2
			17		

Aérodynamique de l'aile
Blade aerodynamics

Code ECUE *Course code:* **AEA**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (4 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MFA	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: C. Sicot	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet Project	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global Total hours	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Maîtriser les théories de la ligne portante et des profils minces pour l'aérodynamique de l'aile.

Pré-requis : Mécanique des fluides (S2), Aérodynamique (S3), Aérodynamique compressible (S4)

Contenu :

Généralités :

- Similitude,
- Classification des écoulements,
- Equations d'Euler et couche limite,
- Equation du potentiel,
- Expression des vitesses en fonction des tourbillons.

Profils minces

Ligne portante de Prandtl

Théorie du potentiel linéarisé pour les ailes en écoulement compressible

Méthode des singularités 3D

Bibliographie : J. J. Bertin, M. L. Smith, *Aerodynamics for engineers*

Expected competencies: To acquire the lifting line theory

Prerequisites: Fluid mechanics (S2), Aerodynamics (S3), Compressible aerodynamics (S4)

Content:

Fundamentals :

- Similarity,
- Flow classification,
- Euler's equation and boundary layer,
- Potential equation,
- Velocity and vorticity.

Thin airfoils

Prandtl's lifting line theory

Compressible flow around wings by means of the linearized potential method

3D boundary elements method

Recommended reading: J. J. Bertin, M. L. Smith, *Aerodynamics for engineers*

Turbulence <i>Turbulence</i>		
Code ECUE <i>Course code:</i> TUR	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (4 ECTS)	
Département <i>Department</i>	: MFA	Cours Lectures : 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: J. Borée, G. Lehnasch, L. Pérault	T.D. Tutorials : 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Avoir une bonne compréhension physique et phénoménologique en introduisant les « forces et faiblesses » des modélisations de la turbulence classiques et avancées.

Pré-requis : Mécanique des fluides (S2), Aérodynamique (S3)

Contenu :

Cours :

1. Introduction, quelques rappels
2. Description statistique des écoulements turbulents
3. Les équations du mouvement moyen (rappels de deuxième année)
4. Bilans énergétiques
5. Phénoménologie tourbillonnaire associée aux transferts énergétiques
6. Ecoulements turbulents cisailés libres
7. Turbulence de paroi. Base de données, lois physiques
8. Modélisation et simulation de la turbulence

TD :

- Mélange turbulent : application au moteur à combustion interne
- Notions statistiques fondamentales pour la mesure d'un écoulement turbulent
- Cascade d'énergie et hypothèses de Kolmogorov
- Equation d'évolution des tensions de Reynolds
- La turbulence cinématiquement homogène, ses distorsions en liaison avec le développement de la modélisation.
- Ecoulement de sillage plan turbulent
- Turbulence de paroi. Analyse physique et modélisation
- Ecriture d'un modèle à deux équations (exemple du modèle k-epsilon)

Bibliographie :

P.Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides, Editions Cepadues, 2000

S.B. Pope, Turbulent flows, Cambridge University Press, 2000

Expected competencies: Have a good physical and phenomenological understanding by introducing the strength and limitations of standard and advanced turbulence models.

Prerequisites: Fluid mechanics (S2), Aerodynamics (S3)

Content:

Courses:

1. Introduction.
2. Statistical description of the turbulent flows
3. Mean-flow equations
4. Mean and turbulent kinetic energy budgets
5. The scales of turbulent motion
6. Free shear flows
7. Wall flows
8. Modelling and simulation of turbulent flows

Tutorials:

- Turbulent mixing: application to the internal combustion engine
- Statistical convergence for the measurement of a turbulent flow
- Energy cascade and Kolmogorov hypotheses
- Budgets of the Reynolds stresses
- Homogeneous turbulence. Its distortions in liaison with the development of models
- Self-preserving turbulent plane wake
- Wall flows. Physical analysis and modelling
- Writing of a two-equations model (example of k-epsilon model)

Recommended reading:

P.Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides, Editions Cepadues, 2000

S.B. Pope, Turbulent flows, Cambridge University Press, 2000

Cours Electifs Systèmes Session 1 (A3)*Elective course Systems first session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE1***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (4 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Codes de calculs industriels par la simulation des écoulements turbulents
- Fluage
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Management de projet
- Mécanique spatiale et contrôle d'altitude
- Le PLM, transformation digitale et gestion de projet

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Industrial codes for CFD
- Creep
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Project management
- Astrodynamics and orbital propulsion
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Combustion <i>Combustion</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> COB	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (4 ECTS)
Département <i>Department</i> : ET	Cours Lectures : 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : M. Bellenoue, F. Virot	T.D. Tutorials : 12h30
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre, 5 th semester	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen écrit, 1 written exam	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français, French	Horaire global Total hours : 25h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire, Compulsory	Travail personnel Homework : 11h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire, Graduate	

Compétences attendues : Connaître les aspects fondamentaux de la combustion en régimes laminaires.

Pré-requis : Thermodynamique, mécanique des fluides

Contenu :

1. Introduction
2. Equations de bilan local des milieux gazeux réactifs
3. Relations phénoménologiques – Terme de production chimique
4. Flammes de diffusion
5. Flammes laminaires de pré mélange
6. Combustion dans les foyers de turboréacteurs
7. L'inflammation et l'extinction

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Knowledge of the fundamentals of laminar combustion.

Prerequisites: Thermodynamics, fluid mechanics

Content:

1. Introduction
2. Conservative equations for multicomponents reacting system
3. Phenomenological relations – Chemical kinetics
4. Diffusion flames
5. Premixed laminar flames
6. Turbojet engines' combustion in combustion chambers
7. Ignition and extinction

Recommended reading: none

Modélisation thermique
Thermal modelling

Code ECUE Course code: MOD

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (4 ECTS)

Département <i>Department</i>	: ET	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: E. Videcoq	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre, 5 th semester	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit, 1 written exam	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français, French	Horaire global <i>Total hours</i>	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire, Compulsory	Travail personnel <i>Homework</i>	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire, Graduate		

Compétences attendues : Appréhender une méthode de modélisation thermique des systèmes

Pré-requis : Bases de transferts thermiques, mécanique des fluides

Contenu :

Généralités sur la modélisation et exemples

- Objectifs, hypothèses, limites,
- Techniques de discrétisation en espace,
- Relation avec l'expérience, validation,
- Exemples industriels (satellite, avion, machine électrotechnique...).

Les bases phénoménologiques nécessaires et leur mise en forme

- Conduction, convection, transport, rayonnement, changement de phase,
- Expression des flux échangés.

La méthode nodale

- Principe,
- Définitions des conductances, capacités, sources,
- Equations de bilan, analogies et réseau thermique,
- Traduction des conditions aux limites.

Couplage thermo-hydraulique

- Pertes de charges,
- Couplage faible, fort.

Modélisation du changement de phase

- Capacité variable,
- Méthode enthalpique

Le modèle thermique : pour quoi faire ?

- Contrôle actif par retour d'état en boucle fermée,
- • Techniques inverses en thermique,
- Notions de réduction de modèle.

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: understanding a thermal modelling method

Prerequisites: Basics of heat transfer, fluid mechanics

Content:

General information on modelling and examples

- Objectives, assumptions, limits,
- Space discretization techniques,
- Comparison with experience, validation
- Industrial examples (satellite, airplane, electric machine ...).

The phenomenological bases and their expression

- Conduction, convection, transport, radiation, phase change,
- Expression of exchanged heat fluxes.

The nodal method

- Principle,
- Définition of conductances, capacities, sources,
- Balance equations, analogies and thermal network,
- Boundary conditions.

Thermo-hydraulic coupling

- pressure drop,
- weak, strong coupling.

Phase change modelling

- Variable capacity,
- Enthalpy method.

Thermal modelling, what for ?

- Model-based thermal control,
- • Inverse methods,
- Reduced-order models.

Recommended reading: none

Cours Electifs Systèmes Session 2 (A3)
Elective course Systems second session (3rd year)

Code ECUE *Course code:*

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (4 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Aéroélasticité des avions
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Moteurs électriques et propulsion automobile
- Systèmes avioniques
- Qualité
- Sécurité incendie et explosions
- Propriété industrielle

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Plane aeroelasticity
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Electric motors and automotive propulsion
- Avionics systems
- Quality
- Fire safety
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Aéroacoustique <i>Aeroacoustics</i>	
Code ECUE <i>Course code: AAC</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : MFA	Cours Lectures : 10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : V. Jaunet, P. Jordan (intervenant extérieur <i>Guest speaker</i>)	T.D. Tutorials : 10h00
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i> :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen <i>1 exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i> :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i> : 20h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i> : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Avoir les connaissances de base pour appréhender les difficultés spécifiques à la résolution des problèmes d'aéroacoustique, à savoir la génération et la propagation du son par et dans les écoulements turbulents, caractéristiques du rayonnement acoustique des jets de turboréacteur des avions par exemple.

Savoir interpréter physiquement les mécanismes sous-jacents et introduire des modèles classiques de prévision des effets de convection et de réfraction associés à la propagation d'ondes acoustiques en écoulement anisothermes cisailés et de génération de bruit dû aux fluctuations turbulentes (analogies aéroacoustiques).

Pré-requis : Mécanique des fluides, turbulence, acoustique fondamentale

Contenu :

Introduction

- Présentation générale de quelques problèmes génériques d'aéroacoustique,
- Nature des sources et phénomènes physiques associés.

Chapitre 1 - Rappels généraux d'acoustique fondamentale

- Equations du fluide compressible en régime instationnaire,
- Equation des ondes, vitesse du son, solution générale, impédance,
- Energie, puissance et intensité acoustiques,
- Niveaux acoustiques.

Chapitre 2 - Propagation acoustique en écoulement

- Equations de propagation d'ondes acoustiques linéaires en écoulement,
- Convection des ondes, effet Doppler,
- Réfraction des ondes en écoulement.

Chapitre 3 - Génération de bruit par les écoulements turbulents libres

- Equation des ondes avec second membre, fonction de Green,
- Analogie de Lighthill,
- Loi en puissance et introduction à l'estimation statistique du bruit de jet.

Chapitre 4 - Bruit des obstacles en écoulement

- Analogie de Curle,
- Loi en puissance et estimation statistique du bruit d'un cylindre en écoulement.

Bibliographie :

M.E. Goldstein, *Aeroacoustics*, Mc Graw Hill International, 1976

D. Crighton, A. Dowling, J. Ffowcs Williams, M. Heckel and F. Leppington, *Modern methods in analytical acoustics*, Springer Verlag, 1994

Expected competencies: Basic knowledge to grasp the specific difficulties in solving problems in aeroacoustics; such as sound generation and propagation by and in turbulent flow, characteristics of the acoustic emission of aircraft turbojets for example. Physic interpretation of underlying mechanisms and an introduction to the standard estimation models of convection and refraction effects associated with the propagation of acoustic waves in shear and non isothermal flows, and of generation of sound due to turbulent fluctuations (aeroacoustics analogy).

Prerequisites: Fluid mechanics, turbulence, fundamentals of acoustics

Content:

Introduction

- General presentation of some basic aeroacoustics problems,
- Origin of the sources and associated physical phenomena

Chapter 1 - General reminders of fundamental acoustics

- Equations of compressible fluid in unsteady flow,
- Wave equations, sound velocity, general solution, impedance,
- Acoustic energy, power and intensity - Sound levels.

Chapter 2 - Sound propagation in flow

- Equations of linear acoustic wave's propagation in flow (Linearized Euler Equations, LEE),
- Wave convection, Doppler effect,
- Wave refraction in flow.

Chapter 3 - Noise generation from free turbulent flows

- Wave equations, Green's function,
- Lighthill's analogy,
- Power law and introduction to statistical estimation of jet noise.

Chapter 4 - Noise from wall-bounded unsteady flows

- Curle's analogy,
- Power law and statistical estimation of the sound of a cylinder in flow.

Recommended reading:

M.E. Goldstein, *Aeroacoustics*, Mc Graw Hill International, 1976

D. Crighton, A. Dowling, J. Ffowcs Williams, M. Heckel and F. Leppington, *Modern methods in analytical acoustics*, Springer Verlag, 1994

Aérodynamique haute vitesse
High-speed Aerodynamics

Code ECUE *Course code:* **AHV**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MFA	Cours Lectures	: 10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: E. Goncalves	T.D. Tutorials	: 10h00
Période <i>Year of study</i>	: 3ème année 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre 5 th semester	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen 1 written exam	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 20h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Connaître les méthodes traditionnelles de calcul d'ailes et de fuselage en écoulement supersonique et transsonique. Connaître les résultats de simulation numérique avancée en aérodynamique fondamentale

Pré-requis : Cours d'aérodynamique pour écoulements compressibles. Cours de turbulence.

Contenu :

1. Calcul d'ailes en écoulement supersonique
2. Couche limite compressible
3. Performance aérodynamique
4. Mécanique des Fluides Numériques pour écoulements turbulents compressibles

Bibliographie :

A. Bonnet, J. Luneau, *Aérodynamique. Théories de la dynamique des fluides*, Cepadues, 1989
M. Lesieur, O. Métais, P. Comte, P., *Large Eddy Simulation of Turbulence*, Cambridge University Press, 2005

Expected competencies: Knowledge of traditional methods for wing and fuselage design in supersonic and transonic regimes. Knowledge of results of advanced CFD in fundamental aerodynamics.

Prerequisites: Basic course in aerodynamics for compressible flows. Turbulence course

Content:

1. Finite wings in supersonic flows
2. Compressible boundary layer
3. Aerodynamic performance
4. CFD for turbulent compressible flows

Recommended reading:

A. Bonnet, J. Luneau, *Aérodynamique. Théories de la dynamique des fluides*, Cepadues, 1989
M. Lesieur, O. Métais, P. Comte, P., *Large Eddy Simulation of Turbulence*, Cambridge University Press, 2005

Turbomachines <i>Turbomachinery</i>	
Code ECUE <i>Course code: TBM</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : MFA	Cours Lectures : 10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : A définir	T.D. Tutorials : 10h00
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i> :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i> :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i> : 20h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i> : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Maîtriser les fondements nécessaires pour comprendre le fonctionnement aérodynamique des composants de turbomachines (entrées d'air, compresseur et turbines).

Pré-requis : Mécanique des fluides, aérodynamique, aérodynamique compressible, notions sur des écoulements turbulents, machines thermiques.

Contenu :

- Introduction et généralités sur des turbomachines
- Théorie 2D simplifiée d'un étage compresseur ou turbine
- Ecoulement de grilles-profiles
- Ecoulement 3D
- Critères généraux de conception de compresseurs et de turbines radiaux
- Compresseur radial
- Fonctionnement stable et fonctionnement hors domaine

Bibliographie :

S.L. Dixon, *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Pergamon Press Second Edition, 1975

B.Lakshminarayana, *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*, John Wiley and Sons Inc., 1996

Expected competencies: Knowledge of the fluid mechanics of turbomachinery elements (flow inlets, compressors and turbines)

Prerequisites: Fluid mechanics, aerodynamics, compressible aerodynamics, notions of turbulent flows, thermal engines.

Content:

- Introduction, overview and machinery classification
- Two-dimensional flow in a compressor and a turbine stage
- Two-dimensional cascades and airfoils
- Simplified three-dimensional flow
- General design criteria for compressors and turbines
- Radial compressor
- Stable operation and off design operation

Recommended reading:

S.L. Dixon, *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Pergamon Press Second Edition, 1975

B.Lakshminarayana, *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*, John Wiley and Sons Inc., 1996

Interaction fluide-structure
Fluid-structure interaction

Code ECUE *Course code:* IFS

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MFA	Cours Lectures	: 10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: C. Sicot, E. Goncalvès Da Silva	T.D. Tutorials	: 10h00
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet Project	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global Total hours	: 20h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : L'objectif global est la compréhension des mécanismes fondamentaux qui régissent les interactions mécaniques entre les fluides et les solides. On ne considère pas les interactions faisant intervenir la thermique à l'interface ni les influences chimiques ou même biologique.

Pré-requis : Mécanique des fluides, aérodynamique.

Contenu :

On propose une introduction aux mécanismes physiques qui couplent les mouvements simultanés des fluides et des solides. L'objectif est de fournir les éléments théoriques de base nécessaire à la compréhension, à la modélisation physique et à la résolution de ces dynamiques

Après une approche par analyse dimensionnelle, les différents mécanismes seront présentés et illustrés : flottement à différents degrés de liberté, excitation par la turbulence ou par détachement tourbillonnaire, galop, aéroélasticité,...

Les exemples proposés mettront en évidence le large éventail des secteurs et domaines d'applications concernés par l'interaction fluide-structure : Aéronautique, génie civil, maritime, électronucléaire, biomécanique, énergies renouvelables, ...

Le module comprendra des séances de cours et de TD. Une introduction aux méthodes expérimentales et numériques spécifiques à l'étude des Interaction fluide-structure sera également proposée.

Bibliographie : Aucun

Expected competencies: The main goal is to understand the fundamental mechanisms governing interactions between fluids and solids. We won't consider interactions involving thermal at the interface nor chemical or even biological influences.

Prerequisites: Fluid mechanics, aerodynamics.

Content:

This course introduces the physical mechanisms coupling simultaneous motion of fluids and solids. The objective is to provide the basic theoretical elements necessary for the understanding and physical modelling of these configurations.

After a dimensional analysis approach, the different mechanisms will be presented and illustrated: floating with different degrees of freedom, excitation by turbulence or vortex detachment, ...

The examples will highlight the wide range of fields of application: aeronautics, civil engineering, maritime, electronuclear, biomechanics, renewable energies, ...

The module will include lectures and tutorials. An introduction to experimental and numerical methods specific to the study of Fluid-Structure Interaction will also be given.

Recommended reading:

S.L. Dixon, *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Pergamon Press Second Edition, 1975

B.Lakshminarayana, *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*, John Wiley and Sons Inc., 1996

Détonations et explosions
Detonations and explosions

Code ECUE *Course code:* **DTE**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: ET	Cours Lectures	: 07h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: A. Chinnayya	T.D. Tutorials	: 07h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Savoir caractériser et connaître les conditions d'apparition des régimes supersoniques de la combustion – Interactions ondes de choc en milieu gazeux. Propagation des détonations en milieux gazeux ou condensés

Pré-requis : Thermodynamique, mécanique des fluides, bases de l'aérodynamique supersonique

Contenu :

- Introduction : champs d'application de la détonique
- Ondes de choc dans les gaz
- Tube à choc
- Détonations
- Structures de l'onde de détonation - détonabilité
- Hydrodynamique des produits de détonation
- Méthodes de calcul
- Propulsion par effet stato

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Knowledge of supersonic combustion regimes, their existence. Shockwave interactions in gaseous media. Detonation propagation in gas and solid media.

Prerequisites: Thermodynamics, fluid mechanics, fundamentals of supersonic aerodynamics

Content:

- Fundamentals: Detonic fields
- Gas shockwave
- Shock tube
- Detonations
- Detonation wave structure - detonability
- Hydrodynamics of detonation products
- Methods
- Ramjet Propulsion

Recommended reading: None

Ondes de chocs <i>Shock waves</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> ONC	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI/ET	Cours Lectures : 11h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : T. De Rességuier (CNRS), V. Rodriguez	T.D. Tutorials : 10h00
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i> :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i> :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i> : 21h15
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i> : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Comprendre le comportement des matériaux denses sous chocs

Pré-requis : Mécanique des fluides, thermodynamique, mécanique des solides

Contenu :

Ondes de chocs en milieux condensés

1. Généralités et applications
2. Description hydrodynamique
3. Comportement élastique-plastique des solides
4. Instabilités, transitions de phase
5. Equation d'état
6. Endommagement dynamique et rupture
7. Techniques de mesures sous choc

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Understand the dynamic behaviour of condensed matter subjected to shock compression.

Prerequisites: Fluid mechanics, Thermodynamics, Solid mechanics

Content:

Shock waves in condensed matter

1. Background information and applications
2. Hydrodynamic description
3. Elastic-plastic behaviour of solids
4. Shock wave instabilities, phase transformations
5. Equations of state
6. Shock-induced damage and failure
7. Characterization techniques for shock physics

Recommended reading: None

Turbulence en combustion
Turbulence in combustion

Code ECUE *Course code:* **TTC**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: ET	Cours Lectures	: 08h45
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: C. Strozzi (Univ. Poitiers)	T.D. Tutorials	: 10h00
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 18h45
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Maîtriser les notions sur la modélisation des termes de transports turbulents en milieu réactif et à la modélisation de la combustion turbulente en régime de diffusion, régime de prémélange ou partiellement prémélangé.

Pré-requis : Mécanique des fluides, Combustion, Turbulence

Contenu :

- Généralités
- Equations de bilan de l'écoulement réactif moyen
- Modèles de turbulence
- Modélisation des flammes turbulentes de diffusion
- Modélisations des flammes turbulentes de prémélange
- Exemples d'application de modèles de turbulence et de combustion

Bibliographie :

R. Schiestel, Les écoulements turbulents, Editions HERMES, Paris, 2^{ème} édition, 1998

P. Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides, Editions Cépaduès, 2000

P.A. Libby, F.A. Williams, Turbulent reacting flows, Academic Press, 1994

K.K. Kuo, Principles of Combustion, John Wiley and Sons, 1986

R. Borghi R., M. Destriau, La combustion et les flammes, Editions Technip, 1995

N. Peters, Turbulent combustion, Cambridge University Press, 2000

Expected competencies: To master the concepts of turbulent transports models in reactive systems and turbulent combustion models in diffusion, premixed regimes or partially premixed.

Prerequisites: Fluid mechanics, Combustion, Turbulence

Content:

- General introduction
- Transports equations for the mean turbulent reactive flow
- Turbulence models
- Diffusion turbulent flame modelling
- Premixed turbulent flame modelling
- Examples of application of turbulence and combustion model

Recommended reading:

R. Schiestel, Les écoulements turbulents, Editions HERMES, Paris, 2^{ème} édition, 1998

P. Chassaing, Turbulence en mécanique des fluides, Editions Cépaduès, 2000

P.A. Libby, F.A. Williams, Turbulent reacting flows, Academic Press, 1994

K.K. Kuo, Principles of Combustion, John Wiley and Sons, 1986

R. Borghi R., M. Destriau, La combustion et les flammes, Editions Technip, 1995

N. Peters, Turbulent combustion, Cambridge University Press, 2000

Propulsion <i>Propulsion</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> PRO	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : ET	Cours Lectures : 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : M. Bellenoue	T.D. Tutorials : 12h30
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre 5 th semester	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen 1 written exam	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 25h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Maîtriser les notions approfondies sur les systèmes propulsifs

Pré-requis : Connaissances de base sur la thermodynamique des systèmes propulsifs

Contenu :

Introduction et rappels

Propulseurs aérobies

- Turbomachines
- Turboréacteur (cycle idéal, paramètre d'influence, cycle réel)
- Les propulseurs aérobies « exotiques » (statoréacteur, turbostatoréacteur, moteur à détonation)

Propulseurs anaérobies

- Généralités sur la propulsion fusée
- Moteur à propergol liquide
- Moteur à propergol solide

Le moteur à combustion interne

- Moteur à allumage commandé (alimentation, allumage, combustion)
- Moteur diesel
- Nouveau mode de combustion

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: To master in depth the concepts of propulsive systems

Prerequisites: Basic knowledge on propulsion systems thermodynamics

Content:

Air-breathing propulsion

- Gas turbine engines,
- Turbojets,
- Non conventional air breathing engines (ramjet, turbo-ramjet, pulse detonation engine).

Rocket engine

- Generalities on rocket engines,
- Liquid propellant rocket engines,
- Solid propellant rocket engines.

Internal combustion engine

- Spark ignition engine,
- Diesel engine,
- New combustion modes.

Recommended reading: None

Centrales thermiques <i>Thermal power plants</i>	
Code ECUE <i>Course code: CTH</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3c (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : ET	Cours Lectures : 06h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : E. Videcoq	T.D. Tutorials : 06h15
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 12h30
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Pré-requis : Thermodynamique des machines thermiques (S1), Conduction (S2), Rayonnement thermique (S3), Convection (S4)

Contenu :

- Les cycles : Rankine, Hirn, resurchauffe, à soutirages
- Le générateur de vapeur
- Calcul du circuit moteur
- La source froide
- Blocage des écoulements diphasiques

Bibliographie : Aucune

Prerequisites: Thermal engines thermodynamics (S1), Conduction (S2), Heat radiation (S3), Convection heat transfer (S4)

Content:

- Cycles: Rankine, Hirn, overheating, extraction cycles
- The steam generator
- Motor circuit calculation
- The cold source
- Blocking two-phase flows

Recommended reading: None

Echangeurs aérospatiaux
Aerospace heat exchangers

Code ECUE *Course code:* **EAE**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3c (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: ET	Cours <i>Lectures</i>	: 06h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: M. Fénot	T.D. <i>Tutorials</i>	: 06h15
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Pré-requis : Thermodynamique des machines thermiques (S1), Introduction aux transferts thermiques (S2), Rayonnement thermique (S3), Convection (S4)

Contenu :

A définir

Bibliographie : Aucune

Prerequisites: Thermal engines thermodynamics (S1), Introduction to heat transfer (S2), Radiation heat transfer (S3), Convection heat transfer (S4)

Content:

To be defined

Recommended reading: None

Systèmes diphasiques <i>Two-phase systems</i>	
Code ECUE <i>Course code: SDI</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3c (7 ECTS)
Département <i>Department</i> : ET	Cours Lectures : 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : V. Ayel	T.D. Tutorials : 12h30
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i> :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : A définir	Non encadré <i>Unsupervised</i> :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i> : 25h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i> : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Savoir aborder les systèmes de refroidissement utilisant le changement de phase liquide-vapeur. Comprendre et savoir analyser les mécanismes de fonctionnement, le dimensionnement, l'illustration des domaines d'application pour l'ingénieur

Pré-requis : Thermodynamique des machines thermiques (S1), Introduction aux transferts thermiques (S2), Mécanique des fluides (S2), Convection (S4)

Contenu :

Introduction aux transferts de masse et de chaleur en milieu poreux

Introduction aux systèmes diphasiques : caloducs et boucles diphasiques

Phénomènes d'interfaces

Systèmes diphasiques :

- Limites de fonctionnement des caloducs
- Caractéristiques de fonctionnement thermique et hydraulique des caloducs
- Caloducs thermosiphons
- Caloducs tournants
- Caloduc à réservoir de gaz incondensables
- Caloducs oscillants
- Microcaloducs
- Boucles diphasiques à pompage capillaire
 - LHP
 - CPL

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: To understand how to approach diphasic systems using liquid-vapor phase changes; To understand and analyse behaviour; Sizing; Application areas for engineers.

Prerequisites: Thermal engines thermodynamics (S1), Introduction to heat transfer (S2), Fluid mechanics (S2), Convection heat transfer (S4)

Content:

Introduction to mass and heat transfers in porous media

Introduction to diphasic systems: heat pipes and loop heat pipes

Interfacial phenomena

Two phase systems:

- Operating limits of heat pipes,
- Thermal and hydraulic behaviour characteristics of heat pipes,
- Two phase closed thermosyphons,
- Rotating and revolving heat pipes,
- Variable conductance heat pipes,
- Pulsating heat pipe,
- Micro and mini heat pipes,
- Capillary pumped loop heat pipes:
 - LHP
 - CPL

Recommended reading: None

Transferts convectifs en situations complexes
Convection heat transfer in complex situations

Code ECUE *Course code:* TCC

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3c (7 ECTS)

Département <i>Department</i>	: ET	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: D. Saury	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: A définir	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Maîtriser les connaissances approfondies en transfert de chaleur par convection, savoir les appliquer à des situations industrielles

Pré-requis : Introduction aux transferts thermiques (S2), Rayonnement thermique (S3), Convection (S4)

Contenu :

- Rappels – bases
- Convection naturelle and mixte
 - Convection naturelle mixte
 - Couplages radiatifs
 - Applications à la thermique des ambiances, sous capot, vol à voile...
- Transferts en conditions extrêmes
 - Milieux raréfiés
 - Convection hautes vitesses

Bibliographie :

J.F. Sacadura, *Initiations aux transferts thermiques*, Coordonateur. Lavoisier, Technique et documentation
 Techniques de l'ingénieur - Echangeurs de chaleur B2 340
 GRETh : Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques
 J. Padet, *Echangeurs thermiques*, Masson
 Adrian Bejan, *Heat Transfer*, John Wiley & Sons, 1993
 F. P. Incropera, P.D. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, 1996

Expected competencies: good knowledge of convection heat transfer in complex situations, Use of this knowledge in an industrial context

Prerequisites: Introduction to heat transfer (S2), Radiation heat radiation (S3), Convection heat transfer (S4)

Content:

Fundamentals of convection

- Natural and mixed convection
 - Natural and mixed convection
 - Convection Radiation coupling
 - Applications to specific thermal cases: ambient, underhood, gliding
- Transfers in extreme conditions
 - Rarefied medium
 - High speed convection

Recommended reading:

J.F. Sacadura, *Initiations aux transferts thermiques*, Coordonateur. Lavoisier, Technique et documentation
Techniques de l'ingénieur - Echangeurs de chaleur B2 340

GRETh : Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques

J. Padet, *Echangeurs thermiques*, Masson

Adrian Bejan, *Heat Transfer*, John Wiley & Sons, 1993

F. P. Incropera, P.D. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, 1996

Cours Electifs Systèmes Session 3 (A3)*Elective course Systems third session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE3***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
		Projet <i>Project</i>	:
		Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>		
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Corrosion des matériaux industriels
- Optimisation en aérodynamique appliquée
- Droit des affaires
- Intelligence économique
- Mécanismes spatiaux
- Systèmes intelligents de décision

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students must choose between one of these courses:

- Corrosion of engineering materials
- Optimization in applied aerodynamics
- Business law
- Business intelligence
- Space systems
- Intelligent decision-making systems

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Cours Electifs Systèmes Session 4 (A3)
Elective course Systems fourth session (3rd year)

Code ECUE *Course code:* CE4

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (7 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
		Projet <i>Project</i>	:
		Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>		
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Dimensionnement en fatigue des structures
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Santé et sécurité au travail
- Contrôle non destructif
- Métrologie en mécanique des fluides
- Normes avioniques

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Fatigue design
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Occupational safety and health
- Non-destructive testing
- Metrology in fluid mechanics
- Certification of embedded software system

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Bureau d'études
Advanced Design Project

Code ECUE *Course code:* **BET**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MFA/ET	Cours Lectures	:
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: J. Borée, F. Paillé (ENSMA), L. Pérault, G. Lalizel, V. Ayel, M. Fénot, E. Videcoq, F. Viot, T. T. Hoang, T. de Resseguier (CNRS), M. Beringhier, Z. Bouali, A. Chinnayya.	T.D. Tutorials	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	: 90h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport <i>1 report</i> 1 oral <i>1 oral presentation</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	: 30h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français/Anglais <i>French/English</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 120h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 20h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Savoir résoudre un problème concret en équipe dans son ensemble.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Il s'agit de travaux effectués par des groupes d'une dizaine d'élèves.

Les thèmes proposés sont, pour la plupart, établis en collaboration avec des entreprises et font appel aux connaissances théoriques acquises dans un des domaines relevant de l'option choisie pour la troisième année.

C'est l'occasion d'un apprentissage du travail de groupe où chacun doit contribuer à l'aboutissement de l'étude. Ainsi l'élève doit faire preuve d'autonomie tout en apprenant à communiquer et à travailler en équipe. L'encadrement des enseignants n'est pas trop contraignant de façon à permettre le développement des initiatives et de l'imagination des participants tout en maintenant la rigueur scientifique indispensable.

Le rapport de synthèse doit faire apparaître le déroulement du travail et décrire très soigneusement la démarche et l'étude scientifique réalisée.

Exemples de sujets :

- Aérodynamique et transport terrestre
- Contrôle d'écoulement sur voilure
- Aérodynamique des lanceurs
- Contrôle thermique des satellites
- Etude aérothermique d'un système électrique en contexte aéronautique
- Optimisation énergétique d'un groupe moto-propulseur d'automobile
- Fonctionnement des turboréacteurs et turbopropulseurs en régimes stationnaires et transitoires
- Étude d'un turboréacteur simple flux
- Amélioration du rendement par une combustion à volume constant
- Simulation des phénomènes de dynamique rapide avec le code RADIOSS

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Solve a practical problem in a team context.

Prerequisites: None

Content:

Teams of 10 students.

Most subjects are jointly carried out with industrial partners and require mastery of one scientific domain that constitutes part of the students' 3rd year major.

Each individual will lean to contribute to a collaborative effort. Thus the student must demonstrate his technical expertise as well as his ability to communicate and work in a team. Professors supervise the work to ensure the indispensable scientific validity of the development but will not be directive will foster initiative and imagination among students.

The final report relates the development of the project, outlines the scientific options and carefully describes the whole work.

Topics:

- Automotive aerodynamics
- Micro-UAV design
- Launcher aerodynamics
- Satellite thermal control
- Thermal design of electronic control units (avionics)
- Automotive propulsion systems energetics: analysis, modelling and experimentation, synthesis
- Operation of turbojets and turboprops in stationary and transient regimes.
- Study of a single-flow turbojet
- Performance improvement by a constant volume combustion
- Numerical simulation of shock problems with the Radioss software

Recommended reading: None

Projet Innovation et Développement Durable
Innovation and Sustainable Development Project

Code ECUE *Course code:* **PID**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Y Pannier, Y Nadot	Cours <i>Lectures</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 1 ^{ère} à 3 ^{ème} année <i>1st to 3rd year</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestres 1, 3 et 5 / <i>Semesters 1, 3 & 5</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport écrit + 1 exposé par semestre / <i>1 report + 1 oral per semester</i>	Projet <i>Project</i>	: 15h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	: 15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 30h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Premier et Second cycle universitaire <i>Undergraduate/Graduate</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 07h00

Compétences attendues :

- Faire preuve de sens de l'organisation et de rigueur
- Faire preuve de responsabilité, d'esprit d'équipe, d'engagement et de leadership
- Trouver l'information pertinente, l'évaluer et l'exploiter
- Faire preuve de capacité d'analyse et de synthèse
- Faire preuve de créativité et de rigueur scientifique
- Argumenter et justifier ses résultats
- Communiquer à l'oral en français
- Communiquer à l'écrit en français (communication du fond)
- Rédiger en français (communication forme orthographe grammaire)
- Prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable : énergie et environnement, écoconception, analyse du cycle de vie (ACV)
- Prendre en compte les enjeux et les besoins de la société, notamment en termes de mobilité et d'énergie

Pré-requis :

aucun

Contenu :

Projet d'envergure avec une démarche de type 'programme' d'une entreprise (jalons, livrables) qui comporte 3 principales phases qui mobilisent les 3 années de la manière suivante :

Semestre 1 : Cahier des charges

Mise en contexte du sujet et prise en main de la problématique, analyse des ordres de grandeurs, mise en application du cours 'énergie environnement les défis' et RSE. Le livrable finale sera le cahier des charges détaillé à livrer aux groupes de Semestre 3.

Semestre 3 : Avant-Projet et prototypage

A partir du cahier des charges livré par les groupes du semestre 1, l'objectif principal de ce semestre est de réaliser une étude d'avant-projet pour faire une évaluation de faisabilité du cahier des charges. La première étape est la phase de décision sur le cahier des charges étudié : « oui on peut passer en phase projet, non il faut reprendre le cahier des charges ». L'objectif final est de produire la revue de définition préliminaire ainsi qu'un démonstrateur numérique ou physique. Le FUTUROLAB sera le cadre de réalisation de cette phase de prototypage.

Semestre 5 : phase projet

A partir des résultats de la phase d'avant-projet, réaliser la phase projet détaillée qui va mobiliser les ressources techniques 'métier'. Il sera nécessaire à ce stade de respecter un cadre normatif ou une certification pour justifier le dossier technique final auprès d'un organisme externe.

Expected Competencies:

- Demonstrates organizational skills and rigour
- Demonstrate responsibility, teamwork, commitment and leadership
- Find, evaluate and exploit relevant information
- Demonstrate analytical and synthesis skills
- Demonstrate creativity and scientific rigour
- Argue and justify results
- Communicate orally in French
- Communicate in writing in French (substantive communication)
- Writing in French (communication in the form of grammar spelling)
- Take account of environmental issues, particularly by applying the principles of sustainable development: energy and environment, ecodesign, life cycle analysis (LCA)
- Taking into account the challenges and needs of society, particularly in terms of mobility and energy

Prerequisites:

none

Content:

Major project with a “program” approach of a company (milestones, deliverables) that has 3 main phases that mobilize the 3 years as follows:

Semester 1: Specifications

Contextualization of the subject and handling of the problem, analysis of order of magnitude, implementation of the course “energy environment challenges” and CSR. The final deliverable will be the detailed specifications to be delivered to the groups of Semester 3.

Semester 3: Pre-Project and prototyping

Based on the specifications delivered by the groups of semester 1, the main objective of this semester is to carry out a preliminary project study to make a feasibility assessment of the specifications. The first step is the decision phase on the specifications studied: «yes you can go into the project phase, no you must take back the specifications». The final objective is to produce the preliminary definition review as well as a digital or physical demonstrator. FUTUROLAB will be the framework for this prototyping phase.

Semester 5: Project phase

Based on the results of the pre-project, carry out the detailed project phase that will mobilize the technical resources “business line”. It will be necessary at this stage to respect a normative framework or a certification to justify the final technical file to an external organisation.

Travaux Pratiques <i>Lab works</i>		
Code ECUE <i>Course code:</i> TPR	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)	
Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures :
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: M. Fénot, J. Sotton, V. Ayel, G. Lalizel, C. Romestant (CNRS), G. Lehnasch, V. Jaunet, T. T. Hoang, B. Boust (ENSMA)	T.D. Tutorials :
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} Année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions : 28h00
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} Semestre 5 th semester	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Rapports de TP <i>Lab reports</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 28h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 10h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Savoir mettre en pratique les connaissances acquises en cours et TD sur des configurations expérimentales et numériques.

Pré-requis : Mécanique des fluides de base, aérodynamique supersonique, conduction, convection, rayonnement, thermodynamique, combustion

Contenu :

TP Aérodynamique

- Ecoulements subsoniques,
- Ecoulements transsoniques,
- Ecoulements supersoniques.

TP Transferts thermiques

- Etude des transferts de chaleur dus à l'impact d'un jet,
- Etude de la propagation d'un signal périodique dans une « barre »,
- Mesure de l'échange convectif le long d'une paroi verticale chauffée,
- Mesure de l'échange convectif sur un cylindre chauffé en écoulement forcé,
- Caloduc pour le contrôle thermique des satellites,
- Boucle diphasique pour le contrôle thermique des satellites,
- Boucle diphasique pour application ferroviaire,
- Détermination des facteurs de réflexion par sphère intégrante,
- Détermination de la diffusivité thermique par méthode flash.

TP Energétique

- Détonation,
- Propagation d'une flamme dans un tube,
- Explosion aérienne - Détermination de la vitesse fondamentale d'une flamme par la méthode de la bombe sphérique : Parties théorique et expérimentale,
- Modélisation du développement de la combustion dans une chambre à volume constant: cas d'une chambre sphérique adiabatique,
- Modélisation du développement de la combustion dans une chambre à volume constant: cas d'une chambre cylindrique non-adiabatique,
- Etude spectroscopique d'une flamme.

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: To apply knowledge exposed during lectures and Tutorials to experimental and numerical configurations.

Prerequisites: Fluid mechanics, supersonic flow, conductive heat transfer, convective heat transfer, radiative heat transfer, thermodynamics, combustion

Content:

Laboratory session in Aerodynamics

- Subsonic flows,
- Transonic flows,
- Supersonic flows.

Laboratory session in Thermal transfer

- Heat transfer of an impinging jet,
- Periodic signal propagation in a “bar”,
- Convective exchange along a heated vertical wall measurement,
- Convective exchange on a heated cylinder in forced flow measurement,
- Heat pipe for satellite thermal control,
- Diphasic loop for satellite thermal control,
- Diphasic loop for railway applications,
- Reflective factors by integral sphere determination,
- Thermal diffusion determination by means of the flash method.

Laboratory session in Energetics

- Detonation,
- Flame spread in a tube,
- Airburst - Determination of the fundamental speed of flame with the spherical bomb method, Theoretical part, Experimental part,
- Combustion development modelling in a constant volume chamber: case of an adiabatic spherical chamber,
- Combustion development modelling in a constant volume chamber: case of a non-adiabatic cylindrical chamber,
- Spectroscopic study of a flame.

Recommended reading: None

Modélisation par éléments finis
Finite element modelling

Code ECUE *Course code:* **MFI**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: J-C. Grandidier, E. Lainé (CNRS)	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 écrit - cas concret sur ordinateur <i>1 written - practical case on computer</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Maîtriser le technique éléments finis et les techniques, savoir la mettre en œuvre dans un code industriel ; savoir analyser des résultats de simulation

Pré-requis : Principe de la technique des éléments finis, résolution des systèmes linéaires, mathématiques des fonctions polynomiales, calcul tensoriel et d'intégrales.

Contenu :

- Rappel sur les théories en mécanique des structures
- Formulations variationnelles en mécanique des structures
- Description des éléments finis adaptées aux différentes théories (iso-paramétriques, interpolation)
- Présentation d'éléments spécifiques à la fissuration, éléments finis hybride à intégration réduite, de plaque
- Résolution des systèmes linéaires et non linéaires
- Intégration numérique des matrices de rigidité
- Méthode des éléments finis pour la simulation en dynamique et en thermique
- Maîtrise d'un logiciel industriel (ABAQUS) ; Analyse et critique des simulations numériques

Bibliographie :

Modélisation des structures par éléments finis, Volumes 1,2 et 3 de J.L. Batoz et G. Dhatt ; Hermès.
Finite element procedures in engineering analysis, K.J. Bathe; Prentice-Hall.
Une présentation de la méthode des éléments finis de G. Dhatt, G. Touzot ; Malone SA.
Analyse des structures par éléments finis - Sup Aero, J-F. Imbert ; Cepadues.
The finite element method, Fourth Edition vol 1 and 2, O.C. Zienkiewicz and R.L.Taylor; Mc Graw Hill

Expected competencies: Master the finite element technique and know how to use it in an industrial code; know how to analyze simulation results.

Prerequisites: Principle of the finite element technique, solving linear systems, mathematics of polynomial functions, tensor and integral calculus.

Content:

- Reminder of theories in structural mechanics
- Variational formulations in structural mechanics
- Description of finite elements adapted to different theories (iso-parametric, interpolation)
- Presentation of elements specific to cracking, hybrid finite elements with reduced integration, plate finite elements
- Resolution of linear and nonlinear systems
- Numerical integration of stiffness matrices
- Finite element method for dynamic and thermal simulation
- Use of industrial software (ABAQUS); Analysis and critique of numerical simulations

Recommended reading:

Modélisation des structures par éléments finis, Volumes 1,2 et 3 de J.L. Batoz et G. Dhatt ; Hermès.
Finite element procedures in engineering analysis, K.J. Bathe; Prentice-Hall.
Une présentation de la méthode des éléments finis de G. Dhatt, G. Touzot ; Malone SA.
Analyse des structures par éléments finis - Sup Aero, J-F. Imbert ; Cepadues.
The finite element method, Fourth Edition vol 1 and 2, O.C. Zienkiewicz and R.L.Taylor; Mc Graw Hill

Plasticité <i>Plasticity</i>	
Code ECUE <i>Course code: PLA</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 13h45
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : D. Halm, C. Nadot-Martin	T.D. Tutorials : 13h45
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année / 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : S5	Projet Project : /
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised : /
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français / <i>French</i>	Horaire global Total hours : 27h30
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire / <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 12h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Maîtriser les outils classiques de la simulation de la plasticité. Savoir identifier les paramètres des modèles et réaliser des simulations par éléments finis en présence de plasticité.

Pré-requis : Mécanique des milieux continus, Mécanique des solides

Contenu :

- Introduction à la mécanique non linéaire
- Phénoménologie du comportement élasto-visco-plastique
- Critères de plasticité
- Ecrouissage isotrope
- Ecrouissage cinématique linéaire et non linéaire

Bibliographie :

- J. Lemaitre, J-L. Chaboche, *Mécanique des matériaux solides*, Dunod, 1988
- D. François, A. Pineau, A. Zaoui, *Comportement mécanique des matériaux*, Hermes, 1995
- J. Besson, G. Cailletaud, J-L. Chaboche, S. Forest, *Mécanique non linéaire des matériaux*, Hermes, 2001

Expected competencies: Master the classic tools for simulating plasticity. Identify model parameters and carry out finite element simulations in the presence of plasticity.

Prerequisites: Continuum mechanics, Solid mechanics

Content:

- Introduction to nonlinear mechanics
- Phenomenology of elasto-visco-plastic behaviour
- Plasticity criteria
- Isotropic hardening
- Linear and nonlinear kinematic hardening

Recommended reading:

- J. Lemaitre, J-L. Chaboche, *Mécanique des matériaux solides*, Dunod, 1988
- D. François, A. Pineau, A. Zaoui, *Comportement mécanique des matériaux*, Hermes, 1995
- J. Besson, G. Cailletaud, J-L. Chaboche, S. Forest, *Mécanique non linéaire des matériaux*, Hermes, 2001

Analyse expérimentale en mécanique
Experimental mechanics

Code ECUE *Course code:* **AEM**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	: 07h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Y. Pannier	T.D. Tutorials	: 03h45
	: 3 ^{ème} année / 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	:
Période <i>Year of study</i>	: S5	Projet Project	:
Semestre <i>Semester</i>	: 1 examen écrit	Non encadré Unsupervised	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 written exam	Horaire global Total hours	: 11h15
		Travail personnel Homework	: 05h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français / French		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire / Compulsory		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire Graduate		

Compétences attendues : Acquérir et mettre en application des techniques expérimentales de mesures de champs de déplacements/contraintes. Comparer avec des approches numériques, identifier des propriétés matériaux au cours d'essais sur structures.

Pré-requis : Mécanique des milieux continus (élasticité, plasticité), optique, mécanique de la rupture, fatigue.

Contenu :

- Mesures expérimentales des contraintes, déformations, déplacements ;
- Approche numérique ;
- Etude de cas avec utilisation de ces techniques ;
- Suivi de l'endommagement.

Travaux pratiques (cf. matière « Travaux pratiques »)

Projet pendant 5 séances de 3h30. Les résultats obtenus par les différentes méthodes expérimentales proposées sont confrontés aux résultats numériques avec Abaqus :

- Photoélasticimétrie ;
- Corrélation d'images numériques ;
- Méthode de Moiré.

Bibliographie :

A. Lagarde, *Static and dynamic photoelasticity and caustics – Recent developments*, Springer Verlag, New-York, 1987

A. Lagarde, *Optical methods in mechanics of solids*, Sijthoff & Noordhoff, 1981

Evaluation des données de mesure : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure, JCGM 100, GUM, 2008

M. Grédiac, F. Hild, *Mesures de champs et identification en mécanique des solides*, Collection Mécanique et Ingénierie des Matériaux, Hermès, Lavoisier, 2011.

Expected competencies: To Apply experimental displacement/ stress field measurements techniques. Compare with numerical simulations, constitutive law parameters identification from heterogeneous tests.

Prerequisites: Continuum mechanics (elasticity, plasticity), optics, fracture mechanics, fatigue

Content:

- Experimental measurements of stresses, strains and displacements,
- Numerical approach,
- Case study using these techniques,
- Damage characterization/evolution.

Lab work

5 sessions on the following topics, with experimental and numerical confrontation:

- Photoelasticimetry,
- Digital image correlation,
- Moiré method.

Recommended reading:

A. Lagarde, *Static and dynamic photoelasticity and caustics – Recent developments*, Springer Verlag, New-York, 1987

A. Lagarde, *Optical methods in mechanics of solids*, Sijthoff & Noordhoff, 1981

Evaluation des données de mesure : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure, JCGM 100, GUM, 2008

M. Grédiac, F. Hild, *Mesures de champs et identification en mécanique des solides*, Collection Mécanique et Ingénierie des Matériaux, Hermès, Lavoisier, 2011.

Cours Electifs Systèmes Session 1 (A3)*Elective course Systems first session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE1***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Codes de calculs industriels par la simulation des écoulements turbulents
- Fluage
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Management de projet
- Mécanique spatiale et contrôle d'altitude
- Le PLM, transformation digitale et gestion de projet

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Industrial codes for CFD
- Creep
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Project management
- Astrodynamics and orbital propulsion
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Propriétés Mécaniques des Matériaux Métalliques
Mechanical Properties of Metallic Materials

Code ECUE *Course code:* **PMM**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: M. Arzaghi, J. Cormier	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	: /
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre 5 th semester	Projet Project	: /
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit 1 written exam	Non encadré Unsupervised	: /
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Anglais English	Horaire global Total hours	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire Compulsory	Travail personnel Homework	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire Graduate		

Compétences attendues :

Relier les propriétés mécaniques macroscopique (traction, fluage, ...) aux caractéristiques microstructurales des matériaux métalliques et aux modes de déformation

Pré-requis : Mécanique des Milieux continus, Science des Matériaux

Contenu :

- Elasticité Généralisée
- Mécanismes de déformation (théorie des dislocations, mécanismes diffusioennels)
- Mécanismes de durcissement
- Physique de la plasticité et la viscoplasticité
- Plasticité à la mise en forme
- Lois de comportement cristalline

Bibliographie :

Physique des Matériaux, Quéré, Eds. Ellipses
Dislocations et Plasticité des Cristaux, Martin, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes
Elasticité Cristalline, Gadaud, ISTE Editions
The Physics of Creep, Nabarro & de Villiers, Taylor and Francis
Physical Foundation of Materials Science, G. Gottstein

Expected competencies:

Correlate macroscopic mechanical properties (tensile properties, creep properties, ...) to deformation mechanisms and microstructure characteristics.

Prerequisites: Continuum Mechanics, Materials Science

Content:

- Generalized Elasticity
- Deformation mechanisms (Dislocation theory, Diffusional mechanisms)
- Strengthening Mechanisms
- Physics of plasticity and viscoplasticity
- Deformation processing of metals
- Crystal plasticity constitutive equations

Recommended reading:

Physique des Matériaux, Quéré, Eds. Ellipses
Dislocations et Plasticité des Cristaux, Martin, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes
Elasticité Cristalline, Gadaud, ISTE Editions
The Physics of Creep, Nabarro & de Villiers, Taylor and Francis
Physical Foundation of Materials Science, G. Gottstein

Rupture <i>Fracture mechanics</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> RUP	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 6h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : C. Gardin	T.D. Tutorials : 6h15
Période <i>Year of study</i> : 3e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5e semestre <i>5th semester</i>	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Anglais <i>English</i>	Horaire global Total hours : 12h30
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 05h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues :

- Savoir distinguer les trois modes de fissuration,
- Être capable de distinguer rupture fragile et rupture ductile,
- Connaître et utiliser les notions de facteur d'intensité de contraintes et de ténacité pour un dimensionnement de structure sous sollicitation statique avec présence d'une fissure,
- Avoir des connaissances de base en mécanique élastoplastique de la rupture,
- Connaître les impératifs à respecter pour un calcul éléments finis en présence de fissure.

Pré-requis : Mécanique des solides

Contenu :

Différents types de rupture

Mécanique linéaire de la rupture

Notions de mécanique de la rupture élastoplastique

Bibliographie : D. François, A. Pineau, A. Zaoui, Comportement mécanique des matériaux, Hermes, 1995

Expected competencies: To be able to take into account a stress concentrator or a crack during dimensioning of a structure under static or cyclic loading

Prerequisites: Solid mechanics

Content:

Different types of fracture

Linear fracture mechanics

Elastoplastic fracture mechanics

Recommended reading: D. François, A. Pineau, A. Zaoui, Comportement mécanique des matériaux, Hermes, 1995

Fatigue <i>Fatigue</i>	
Code ECUE <i>Course code: FAT</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 05h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : G. Hénaff, Y. Nadot	T.D. Tutorials : 05h00
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} semestre, 5 th semester	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 écrit, 1 written exam	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Anglais et Français, <i>English and French</i>	Horaire global Total hours : 10h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire, <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 05h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Comprendre les mécanismes d'endommagement et de ruine sous sollicitation cyclique ; Sélectionner le critère de dimensionnement adapté

Pré-requis : Mécanique des Solides, Science des Matériaux

Contenu :

Endommagement par fatigue (amorçage, propagation de fissure)

Comportement cyclique - Fatigue oligocyclique

Fatigue à grand nombre de cycle

Critères de fatigue

Fatigue de composants entaillés

Propagation de fissure

Bibliographie : *Fatigue des Structures* (G. Hénaff et F. Morel – Editions Ellipses) ; *Fatigue of Structures and Materials* (J. Schijve, Springer) ; *Fatigue of Materials* (S. Suresh, Cambridge University Press) ;

Expected competencies: Understand the mechanisms of damage and failure under cyclical loading; Select the appropriate fatigue design criterion

Prerequisites: Solid Mechanics

Content:

Fatigue damage (crack initiation, crack propagation)

Cyclic stress strain behaviour – Low cycle fatigue

High cycle fatigue

Fatigue criteria

Fatigue of notched components

Fatigue crack growth

Recommended reading: *Fatigue des Structures* (G. Hénaff et F. Morel – Editions Ellipses) ; *Fatigue of Structures and Materials* (J. Schijve, Springer) ; *Fatigue of Materials* (S. Suresh, Cambridge University Press) ;

Stratifiés composites <i>Laminated composites</i>	
Code ECUE <i>Course code: SCO</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 07h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : C. Gardin	T.D. Tutorials : 07h30
Période <i>Year of study</i> : 3e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5e semestre <i>5th semester</i>	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 15h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 07h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues :

- Savoir estimer le comportement mécanique anisotrope des stratifiés,
- Savoir choisir un drapage et des constituants (fibres, matrice) en fonction du cahier des charges de l'application visée,
- Être à même d'utiliser un critère de rupture spécifique aux stratifiés pour dimensionner une pièce composite,
- Avoir des notions de base concernant le recyclage des matériaux composites,
- Connaître les principales techniques de fabrication des composites.

Pré-requis : Mécanique des solides

Contenu :

- Généralités sur les matériaux composites
- Les composites et le monde aérospace
- Comportement mécanique des composites stratifiés
- Milieu élastique anisotrope
- Constantes élastiques d'un composite unidirectionnel
- Constantes élastiques d'un pli dans une direction quelconque
- Comportement des plaques stratifiées minces
- Constituants
- Techniques de mise en œuvre
- Procédés de recyclage des composites

Bibliographie : D. Gay, Matériaux composites, Edition Hermes

Expected competencies: To understand and quantify the mechanical behaviour of composite laminates. To be able to choose a stacking sequence for a given application.

Prerequisites: Solid mechanics

Content:

- Fundamentals on composite laminates
- Composite materials in aeronautical applications
- Mechanical behaviour of composite laminates
- Elastic anisotropic medium
- Elastic constants of a unidirectional composite
- Elastic constants of a ply in a given orientation
- Behaviour of thin composite laminates
- Constituents
- Manufacturing processes
- Composite material recycling process

Recommended reading: D. Gay, Matériaux composites, Edition Hermes

Cours Electifs Systèmes Session 2 (A3)*Elective course Systems second session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE2***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Aéroélasticité des avions
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Moteurs électriques et propulsion automobile
- Systèmes avioniques
- Qualité
- Sécurité incendie et explosions
- Propriété industrielle

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Plane aeroelasticity
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Electric motors and automotive propulsion
- Avionics systems
- Quality
- Fire safety
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Endommagement <i>Damage mechanics</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> END	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 07h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : D. Halm	T.D. Tutorials : 08h45
Période <i>Year of study</i> : 3 ère année / 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : S5	Projet Project : /
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised : /
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français / French	Horaire global Total hours : 16h15
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire / Compulsory	Travail personnel Homework : 08h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire / Graduate	

Compétences attendues : Maîtriser des modèles d'endommagement fragile et ductile

Pré-requis : Plasticité

Contenu :

- Processus d'endommagement : phénomènes microscopiques, manifestations macroscopiques
- Quelques rappels sur les outils de modélisation
- Endommagement quasi-fragile
- Endommagement ductile

Bibliographie :

- J. Lemaitre, J-L. Chaboche, *Mécanique des matériaux solides*, Dunod, 1998
 - J. Lemaitre, R. Desmorat, *Engineering damage mechanics*, Springer, 2005
-

Expected competencies: Master brittle and ductile damage models

Prerequisites: Plasticity

Content:

- Damage processes: microscopic phenomena, macroscopic features
- Some reminders on modelling tools
- Quasi-brittle damage
- Ductile damage

Recommended reading:

- J. Lemaitre, J-L. Chaboche, *Mécanique des matériaux solides*, Dunod, 1998
 - J. Lemaitre, R. Desmorat, *Engineering damage mechanics*, Springer, 2005
-

Grandes déformations <i>Finite Strains</i>	
Code ECUE <i>Course code: DEF</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 7h50
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : C. Nadot-Martin	T.D. Tutorials : 6h25
Période <i>Year of study</i> : 3 ème année / 3 st year	T.P. Laboratory sessions : /
Semestre <i>Semester</i> : S5	Projet Project : /
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 examens écrit / 1 written exam	Non encadré Unsupervised : /
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français / French	Horaire global Total hours : 13h75
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire / Compulsory	Travail personnel Homework : 06h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire / Graduate	

Compétences attendues : Connaître la signification physique des principaux tenseurs de déformation et de contrainte utilisés en transformations finis et savoir comment les utiliser. Comprendre les lois hyperélastiques isotropes usuelles et savoir mener un calcul de structures avec Abaqus dans ce cadre (applications colles et adhésifs, joints d'étanchéité, amortissement,...)

Pré-requis : Mécanique des solides déformables, notions de mécanique non-linéaire

Contenu :

- Compléments de Mécanique des Milieux Continus (cinématique, tenseurs des déformations et des contraintes, analyse conjuguée (dualité contrainte-déformation))
- Hyperélasticité isotrope et applications aux matériaux à base élastomère

Bibliographie :

J. Coirier, C. Nadot-Martin, Mécanique des Milieux Continus : cours et exercices corrigés, Dunod, 2013

R.W. Ogden, Non-linear elastic deformations, Ellis Horwood Series In Mathematics and its Applications, 1984

Expected competencies: Know the physical meaning of main strain and stress tensors employed in finite strain and how to use them. Understand classical isotropic hyperelastic laws and know how to perform structural analysis with Abaqus in this framework (applications: adhesives, seals, damping,...).

Prerequisites: Solid mechanics, notions of non-linear mechanics

Content:

- Complements of Continuum Mechanics (kinematics, strain and stress tensors, combined analysis (stress-strain duality))
- Isotropic hyperelasticity and applications to elastomer based materials

Recommended reading:

J. Coirier, C. Nadot-Martin, Mécanique des Milieux Continus : cours et exercices corrigés, Dunod, 2013

R.W. Ogden, Non-linear elastic deformations, Ellis Horwood Series In Mathematics and its Applications, 1984

Structures aéronautiques
Aeronautical structures

Code ECUE *Course code:* STA

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	:
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: J-C. Grandidier, E. Lainé (CNRS)	T.D. Tutorials	: 22h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 écrit - cas concret sur ordinateur <i>1 written - practical case on computer</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 22h30
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 10h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire / <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Savoir modéliser une structure aéronautique ; savoir mettre en œuvre des simulations d'éléments de structures aéronautiques dans un code industriel et répondre à un calier des charges, savoir analyser les résultats de simulation.

Pré-requis : Méthode des éléments finis, mécanique des milieux continus.

Contenu :

- Principaux éléments structuraux d'un avion
- Outils de modélisation numérique des structures aéronautiques
- Etude la méthodologie de modélisation par la pratique
- Présentation de la théorie des plaques : Hypothèses des petites déformations et rotations modérées, hypothèses de Kirchhoff-Love
- Technique d'analyse des simulations numériques - mise en œuvre sur Abaqus
- Théorie de la mécanique non linéaire géométrique : hypothèses cinématiques
- Résolution numérique des problèmes de flambage et post flambage de poutres et plaques

Bibliographie :

Aircraft Design: A conceptual approach Fourth edition – D.P. Raymer -2006– AIAA Education Series Editor J.A. Schetz.
 Analysis and design of flight vehicle structures, E. F. Bruhn; Jacobs.
 Airplane Design: Part III Layout design of cockpit, fuselage, wing and empennage: cutaways and inboard profiles – J. Roskman -1989– University of Kansas.
 Les avions de transport modernes et futurs – A. Peyrat-Armandy -1997– Teknea.
 Cours ENAC – Département transport aérien – CELLULE CIRCUITS – J-C. Ripoll -1994.
 Cours Sup Aéro – Eléments pour le calcul des structures d'avions – J-M. Fehrenbach -1991.
 Composite materials in aircraft structures – D. H. Middleton -1990– Longman Scientific & Technical.

Expected competencies: Know how to model an aeronautical structure; know how to implement simulations of aeronautical structural elements in an industrial code and respond to specifications; know how to analyze simulation results.

Prerequisites: Finite element method, continuum media mechanics

Content:

- Main structural elements of an aircraft
- Tools for numerical modeling of aeronautical structures
- Practical study of modeling methodology
- Presentation of plate theory: assumptions of small deformations and moderate rotations, Kirchhoff-Love assumptions
- Analysis techniques for numerical simulations - Applications on Abaqus
- Theory of geometric nonlinear mechanics: kinematic assumptions
- Numerical resolution of beam and plate buckling and post-buckling problems

Recommended reading:

Aircraft Design: A conceptual approach Fourth edition – D.P. Raymer -2006– AIAA Education Series Editor J.A. Schetz.

Analysis and design of flight vehicle structures, E. F. Bruhn; Jacobs.

Airplane Design: Part III Layout design of cockpit, fuselage, wing and empennage: cutaways and inboard profiles – J. Roskman -1989– University of Kansas.

Les avions de transport modernes et futurs – A. Peyrat-Armandy -1997– Teknea édition.

Cours ENAC – Département transport aérien – CELLULE CIRCUITS – J-C. Ripoll -1994.

Cours Sup Aéro – Eléments pour le calcul des structures d'avions – J-M. Fehrenbach -1991.

Composite materials in aircraft structures – D. H. Middleton -1990– Longman Scientific & Technical.

Analyse microstructurale des matériaux
Microstructural analysis of Matériaux

Code ECUE *Course code:* **AMM**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	: 12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: V. Pelosin, P. Villechaise (CNRS), S. Hemery	T.D. Tutorials	: 12h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} Année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} Semestre, 5 th semester	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français , <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire / <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Connaître les bases physiques de la microscopie électronique à balayage et à transmission et avoir les techniques d'analyse qui y sont associées. Cerner le type d'information que l'on peut extraire des observations et analyses pour mieux décrire les relations microstructure/propriétés des matériaux.

Pré-requis : Notions sur la durabilité onde/ corpuscule ; éléments d'optique géométrique ; connaissances générales sur la nature des matériaux : phases, cristallographie, science des matériaux, notions sur les dislocations

Contenu :

Diffraction des rayons X

- Détermination de phases dans les matériaux cristallins, Analyse des textures (figures de pôles), Détermination des contraintes résiduelles.

Microscopie électronique à balayage (MEB)

- Eléments d'optique électronique, Interactions électrons-matière : diffusion électronique, électrons rétro-diffusés et secondaires, Formation des images électroniques, Techniques associées à la microscopie électronique à balayage (principes, exemples d'applications) : EDS (Energy Dispersive Spectrometry) et WDS (Wavelength Dispersive Spectrometry), EBSD (Electron BackScattering Diffraction).

Microscopie électronique à transmission (MET)

- Microscopie électronique en transmission, Techniques de préparation des lames minces, Constitution du MET, Diffraction électronique, Indexation des diagrammes de diffraction, Contraste des défauts.

Bibliographie :

R. Guinebretière, Diffraction des rayons x sur échantillons polycristallins, Editions Lavoisier

J.L. Martin et A. George, Caractérisation expérimentale des matériaux II, Traité des matériaux 3, Presse Polytechnique et universitaire romandes

J. Ayache, L. Beaunier, J Boumendi, G. Erhet, D. Laub, Guide de préparation des échantillons pour la microscopie électronique en transmission, T 1 et 2, Publications de l'Université de Saint-Etienne, 2007

J.W. Edington, Practical electron microscopy in marterials science, T2: Electron diffraction in the electron microscope and T3: Interpretation of transmission electron micrographs, Philips Technical Librar

Expected competencies: Know the physical basis of scanning electron microscopy and analytical techniques that are associated. Identify the type of information extracted from observations. Relationship between microstructure and properties of materials.

Prerequisites: Notions on the durability wave/corpuscle; elements of geometrical optic; general knowledge on the nature of materials: phases, crystallographic aspects, materials science, elementary knowledge on dislocations.

Content:

X-ray diffraction : Phase determination in crystalline materials, Texture analysis (pole figures), Study of residual stresses.

Scanning electron microscopy (SEM) : Electron optics elements, Electron-material interaction: electron diffusion, backscattered and secondary electrons, Formation of electron images, Associated techniques to scanning electron microscopy (principles, examples of application): EDS (Energy Dispersive Spectrometry) and WDS (Wavelength Dispersive Spectrometry), EBSD (Electron BackScattering Diffraction).

• **Transmission electron microscopy:** Preparation techniques of thin sections, Formation of the TEM, Electron diffraction, Indexing of diffraction patterns, Defect contrast.

Recommended reading:

R. Guinebrière, Diffraction des rayons x sur échantillons polycristallins, Editions Lavoisier

J.L. Martin et A. George, Caractérisation expérimentale des matériaux II, Traité des matériaux 3, Presse Polytechnique et universitaire romandes

J. Ayache, L. Beaunier, J Boumendi, G. Erhet, D. Laub, Guide de préparation des échantillons pour la microscopie électronique en transmission, T 1 et 2, Publications de l'Université de Saint-Etienne, 2007

J.W. Edington, Practical electron microscopy in materials science, T2: Electron diffraction in the electron microscope and T3: on of transmission electron micrographs, Philips Technical Library

Polymères <i>Polymers</i>		
Code ECUE <i>Course code: POL</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures : 06h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: L. Chocinski	T.D. Tutorials : 06h15
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre <i>5th semester</i>	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Horaire global Total hours : 12h30
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 05h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Acquérir une connaissance approfondie de la structure des différentes classes de polymères et de leurs propriétés, plus particulièrement des propriétés mécaniques.

Pré-requis : Notions générales de science des matériaux

Contenu :

Présentation générale des polymères

- Principales propriétés
- Classification des polymères (thermoplastiques, thermodurs, élastomères)

Caractéristiques des chaînes macromoléculaires

Structure des polymères

- Etat fondu
- Polymères amorphes et semi-cristallins
- Phase amorphe/ transition vitreuse

Propriétés mécaniques des polymères

- Elasticité caoutchoutique
- Viscoélasticité
- Déformation plastique
- Endommagement

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Acquire a thorough knowledge in structure of the different classes of polymers and in their properties, more particularly the mechanical properties.

Prerequisites: Elementary knowledge in materials science

Content:

General presentation of polymers

- Main properties
- Classification of polymers (thermoplastics, thermosets, elastomers)

Characteristics of macromolecular chains

Structure of polymers

- Molten state
- Amorphous and semi-crystalline polymers
- Amorphous phase/ glass transition

Mechanical properties of polymers

- Rubber elasticity
- Viscoelasticity
- Plastic deformation
- Damage

Recommended reading: None

Revêtements <i>Coatings</i>	
Code ECUE <i>Course code:</i> REV	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures : 07h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : V. Pelosin, F. Jacquot (Intervenant extérieur <i>Guest speaker</i>)	T.D. Tutorials : 07h30
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} Année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} Semestre	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : 1 écrit <i>1 written exam</i>	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français , <i>French</i>	Horaire global Total hours : 15h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel Homework : 07h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Connaitre les principales techniques de dépôt et les domaines d'application des matériaux en couches minces.

Pré-requis : Sciences des matériaux, physique du solide

Contenu : Techniques de dépôt : (PVD, CVD, Projection thermique ...), modifications des surfaces, applications dans le secteur aéronautique.

Bibliographie : A. Cornet et J.P. Deville, Physique et Ingénierie des surfaces, EDP Sciences

L. Pawlowski, Dépôts physiques, Presses Polytechniques et universitaires romandes

S. Audisio, M. Caillet, A. Galerie et H. Mazille, Revêtements et traitements de surface, Presses polytechniques et universitaires romandes

Expected competencies: Be informed about the main coating techniques, industrial functions and applications of coatings.

Prerequisites: Material science, solid state physics

Content: Deposition processes (PVD, CVD, Thermal spraying), surface modifications, applications for aircraft industry

Recommended reading: A. Cornet et J.P. Deville, Physique et Ingénierie des surfaces, EDP Sciences

L. Pawlowski, Dépôts physiques, Presses Polytechniques et universitaires romandes

S. Audisio, M. Caillet, A. Galerie et H. Mazille, Revêtements et traitements de surface, Presses polytechniques et universitaires romandes

Cours Electifs Systèmes Session 3 (A3)*Elective course Systems third session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE3***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
		Projet <i>Project</i>	:
		Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>		
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Corrosion des matériaux industriels
- Optimisation en aérodynamique appliquée
- Droit des affaires
- Intelligence économique
- Mécanismes spatiaux
- Systèmes intelligents de décision

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students must choose between one of these courses:

- Corrosion of engineering materials
- Optimization in applied aerodynamics
- Business law
- Business intelligence
- Space systems
- Intelligent decision-making systems

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Cours Electifs Systèmes Session 4 (A3)
Elective course Systems fourth session (3rd year)

Code ECUE *Course code:* **CE4**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
		Projet <i>Project</i>	:
		Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>		
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Dimensionnement en fatigue des structures
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Santé et sécurité au travail
- Contrôle non destructif
- Métrologie en mécanique des fluides
- Normes avioniques

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Fatigue design
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Occupational safety and health
- Non-destructive testing
- Metrology in fluid mechanics
- Certification of embedded software system

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Bureau d'études
Advanced Design Project

Code ECUE *Course code:* **BET**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Département <i>Department</i>	: MSISI	Cours Lectures	:
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: J. Cormier, G. Hénaff, Y. Pannier, T. de Resseguier (CNRS), M. Beringhier, J.C. Grandidier.	T.D. Tutorials	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^e année <i>3rd year</i>	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre <i>5th semester</i>	Projet <i>Project</i>	: 90h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport <i>1 report</i> 1 oral <i>1 oral presentation</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	: 30h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français/Anglais <i>French/English</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 120h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 20h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Savoir résoudre un problème concret en équipe, savoir appréhender la multidisciplinarité, savoir répondre à un cahier des charges, appréhender la gestion de projet.

Pré-requis : Maîtriser les concepts de mécanique des matériaux, des structures, et de la simulation numérique.

Contenu :

Les thèmes proposés sont, pour la plupart, établis en collaboration avec des entreprises ou des organismes de recherche (CNES, CEA, ...) et font appel aux connaissances théoriques acquises dans un des domaines relevant de l'option choisie pour la troisième année. Ils sont renouvelés quasiment toutes les années.

C'est l'occasion d'un apprentissage du travail de groupe où chacun doit contribuer à l'aboutissement de l'étude. Ainsi l'élève doit faire preuve d'autonomie tout en apprenant à communiquer et à travailler en équipe. L'encadrement des enseignants est volontairement limité (90h encadrés/30h en autonomie) de façon à permettre le développement des initiatives et de l'imagination des participants tout en maintenant la rigueur scientifique indispensable. Les élèves sont confrontés à la multidisciplinarité et sont amenés à réaliser des simulations numériques, des essais de caractérisation ou encore à fabriquer des éléments composites.

Le rapport de synthèse doit faire apparaître le déroulement du travail et décrire très soigneusement la démarche et l'étude scientifique réalisée.

Exemples de sujets :

- Simulation des phénomènes de dynamique rapide avec le code RADIOSS
- Modélisation par éléments finis et réalisation de structures composites (Concours SAMPE)
- Conception, instrumentation et modélisation par éléments finis
- Durée de vie en fatigue de composants pour l'aéronautique ou l'énergie
- Modes de dégradation et optimisation des microstructures des matériaux hautes températures pour composants aéronautiques ou pour la production d'énergie.
- Conception, tests, fabrication d'éléments de cubesats en lien avec le NAASC

Bibliographie (spécifique à chaque sujet) : rapports d'étude, littérature scientifique ou spécialisée, techniques de l'ingénieur, webographie

Expected competencies: Know how to solve a concrete problem in a team, conduct a multidisciplinary approach, meet the design requirements, experience project management.

Prerequisites: Master the concepts of mechanics of materials, structures and numerical simulation.

Content:

The themes proposed are, for the most part, established in close collaboration with companies or public research organisms (CNES, CEA, ...), and call on the theoretical knowledge acquired in one of the fields covered by the option chosen for the third year. Most of them are renewed each year.

This is an opportunity to learn how to work in a group, where everyone must contribute to the success of the study. Students are expected to demonstrate their autonomy while learning to communicate and work as part of a team. The teachers' supervision is deliberately limited (90h supervised/30h in autonomy) so as to allow participants to develop their own initiative and imagination, while maintaining the necessary scientific rigor. Students are

confronted with a multidisciplinary approach, and are required to carry out numerical simulations and characterization tests, as well as fabricate composite elements.

The synthesis report must show the progress of the work and describe very carefully the approach and the scientific study carried out.

Examples of topics:

- Simulation of fast dynamic phenomena with the RADIOSS code
- Finite element modeling and production of composite structures (SAMPE competition)
- Finite element design, instrumentation and modeling
- Fatigue life of components for applications in aircraft industry or energy.
- Damage mechanisms and microstructure optimization of high temperature materials for aero-engines components or for power-generation.
- Design, test, simulation of cubesats in close collaboration with NAASC

Recommended reading (specific for each topic): previous reports, scientific and technical literature, techniques de l'ingénieur, webography

Projet Innovation et Développement Durable
Innovation and Sustainable Development Project

Code ECUE *Course code: PID*

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Y Pannier, Y Nadot	Cours <i>Lectures</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 1 ^{ère} à 3 ^{ème} année <i>1st to 3rd year</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestres 1, 3 et 5 / <i>Semesters 1, 3 & 5</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport écrit + 1 exposé par semestre / <i>1 report + 1 oral per semester</i>	Projet <i>Project</i>	: 15h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	: 15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 30h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Premier et Second cycle universitaire <i>Undergraduate/Graduate</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 07h00

Compétences attendues :

- Faire preuve de sens de l'organisation et de rigueur
- Faire preuve de responsabilité, d'esprit d'équipe, d'engagement et de leadership
- Trouver l'information pertinente, l'évaluer et l'exploiter
- Faire preuve de capacité d'analyse et de synthèse
- Faire preuve de créativité et de rigueur scientifique
- Argumenter et justifier ses résultats
- Communiquer à l'oral en français
- Communiquer à l'écrit en français (communication du fond)
- Rédiger en français (communication forme orthographe grammaire)
- Prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable : énergie et environnement, écoconception, analyse du cycle de vie (ACV)
- Prendre en compte les enjeux et les besoins de la société, notamment en termes de mobilité et d'énergie

Pré-requis :

aucun

Contenu :

Projet d'envergure avec une démarche de type 'programme' d'une entreprise (jalons, livrables) qui comporte 3 principales phases qui mobilisent les 3 années de la manière suivante :

Semestre 1 : Cahier des charges

Mise en contexte du sujet et prise en main de la problématique, analyse des ordres de grandeurs, mise en application du cours 'énergie environnement les défis' et RSE. Le livrable finale sera le cahier des charges détaillé à livrer aux groupes de Semestre 3.

Semestre 3 : Avant-Projet et prototypage

A partir du cahier des charges livré par les groupes du semestre 1, l'objectif principal de ce semestre est de réaliser une étude d'avant-projet pour faire une évaluation de faisabilité du cahier des charges. La première étape est la phase de décision sur le cahier des charges étudié : « oui on peut passer en phase projet, non il faut reprendre le cahier des charges ». L'objectif final est de produire la revue de définition préliminaire ainsi qu'un démonstrateur numérique ou physique. Le FUTUROLAB sera le cadre de réalisation de cette phase de prototypage.

Semestre 5 : phase projet

A partir des résultats de la phase d'avant-projet, réaliser la phase projet détaillée qui va mobiliser les ressources techniques 'métier'. Il sera nécessaire à ce stade de respecter un cadre normatif ou une certification pour justifier le dossier technique final auprès d'un organisme externe.

Expected Competencies:

- Demonstrates organizational skills and rigour
- Demonstrate responsibility, teamwork, commitment and leadership
- Find, evaluate and exploit relevant information
- Demonstrate analytical and synthesis skills
- Demonstrate creativity and scientific rigour
- Argue and justify results
- Communicate orally in French
- Communicate in writing in French (substantive communication)
- Writing in French (communication in the form of grammar spelling)
- Take account of environmental issues, particularly by applying the principles of sustainable development: energy and environment, ecodesign, life cycle analysis (LCA)
- Taking into account the challenges and needs of society, particularly in terms of mobility and energy

Prerequisites:

none

Content:

Major project with a “program” approach of a company (milestones, deliverables) that has 3 main phases that mobilize the 3 years as follows:

Semester 1: Specifications

Contextualization of the subject and handling of the problem, analysis of order of magnitude, implementation of the course “energy environment challenges” and CSR. The final deliverable will be the detailed specifications to be delivered to the groups of Semester 3.

Semester 3: Pre-Project and prototyping

Based on the specifications delivered by the groups of semester 1, the main objective of this semester is to carry out a preliminary project study to make a feasibility assessment of the specifications. The first step is the decision phase on the specifications studied: «yes you can go into the project phase, no you must take back the specifications». The final objective is to produce the preliminary definition review as well as a digital or physical demonstrator. FUTUROLAB will be the framework for this prototyping phase.

Semester 5: Project phase

Based on the results of the pre-project, carry out the detailed project phase that will mobilize the technical resources “business line”. It will be necessary at this stage to respect a normative framework or a certification to justify the final technical file to an external organisation.

Travaux Pratiques <i>Lab works</i>	
Code ECUE <i>Course code: TPR</i>	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)
Département <i>Department</i> : MSISI	Cours Lectures :
Coordonnateurs <i>Lecturers</i> : M Arzaghi, H. El Yamani, D. Halm, D. Mellier (CNRS), Y. Pannier, V. Pelosin, O. Smerdova	T.D. Tutorials :
Période <i>Year of study</i> : 3 ^{ème} Année, 3 rd year	T.P. Laboratory sessions : 30h00
Semestre <i>Semester</i> : 5 ^{ème} Semestre	Projet <i>Project</i> :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i> : Rapports de TP <i>Lab reports</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i> :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i> : Français <i>French</i>	Horaire global <i>Total hours</i> : 30h00
Type de cours <i>Type of course</i> : Obligatoire <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i> : 10h00
Niveau <i>Level of course</i> : Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues : Caractériser mécaniquement un alliage aéronautique. Appliquer les techniques expérimentales développées en cours et TD. Comparer avec des simulations numériques.

Propager des ondes ultrasonores et de mesures des constantes élastiques. Contrôle non destructif de pièces métalliques par ultrasons. Analyser un diagramme de diffraction. Identifier l'influence des défauts microstructuraux. Analyser un essai mécanique sur structure par dialogue entre mesure de champs cinématiques et simulation.

Pré-requis : Rupture – fatigue, plasticité, physique du solide, radiocristallographie, calcul d'incertitude, calcul par éléments finis, RDM

Contenu :

TP Matériaux/Fracture

Une première partie de ces travaux pratiques concerne la caractérisation du comportement mécanique de l'alliage 2024. Un essai de traction sur éprouvette haltère permet de déterminer la loi d'écrouissage. On procède également, sur éprouvettes CT, à des essais de fissuration pour obtenir la loi de propagation de Paris et à la détermination de la ténacité.

Une séance est consacrée à l'étude de la propagation des ondes ultrasonores dans des matériaux métalliques. La vitesse de l'onde permet la mesure de constantes élastiques. Il est aussi montré le principe de la détection de défauts par ultrasons sur des pièces métalliques.

Une séance est dédiée à l'analyse de diagrammes de diffractions réalisés sur du laiton fortement écroui puis recuit. Cette étude permet de mettre en évidence la présence de défauts cristallins dans le matériau déformé ainsi que leur élimination progressive.

TP Analyse expérimentale des contraintes

Plusieurs techniques photomécaniques sont prises en main puis mises en œuvre pour analyser le comportement de matériaux et de structures. Une attention particulière est portée à l'analyse quantitative des résultats (calculs d'incertitudes, validation des hypothèses, estimation de biais). Les trois techniques étudiées sont la photoélasticité, la corrélation d'images numériques et la déflectométrie (Moiré par réflexion). Les résultats des essais sont comparés à des résultats de simulation par éléments finis de manière itérative en vue de converger vers une meilleure corrélation des résultats.

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Mechanical characterization of an aeronautical alloy. To apply experimental techniques exposed during lectures and Tutorials, and to compare experimental results with numerical simulations.

Ultrasonic wave propagation and elastic constants measurements. Non-destructive testing of metallic materials.

Diffraction pattern analysis (microstructural defect incidence). Analyse a mechanical test on a structure by combining kinematic field measurements and simulation.

Prerequisites: Fracture- fatigue, plasticity, solid state physics, crystal analysis by x rays, uncertainty calculation, finite element analysis, strength of materials

Content:

Laboratory session in materials and fracture

A first part of this laboratory work deals with the characterization of the mechanical behaviour of the 2024 alloy. A tension test allows the determination of the hardening law. Fatigue tests on CT specimens provide propagation kinetics (Paris law). Tension tests on CT specimens lead to the characterization of the toughness of the alloy.

A session is dedicated to the study of ultrasonic wave propagation in metallic materials. The wave velocity allows the measurement of elastic constants. It is also shown the principle of ultrasonic detection of defects. Another session is dedicated to the diffraction pattern analysis carried out on highly cold-worked and reheating brass. This study underlines the presence of crystalline defects in a strained material as well as their progressive elimination.

Laboratory session in stress analysis

Several photomechanical techniques are used to analyse the behaviour of materials and structures. Special attention is given to the quantitative analysis of the results (calculation of uncertainties, validation of hypotheses, and estimation of bias). The three techniques studied are photoelasticity, digital image correlation, and deflectometry (moiré by reflection). The test results are iteratively compared with the results of finite element simulations in order to achieve a better correlation of the results.

Recommended reading: None

Architecture Logicielle <i>Software architecture</i>			
Code ECUE <i>Course code:</i> ARL		UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	7h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard	T.D. <i>Tutorials</i>	7h30
Période <i>Year of study</i>	A	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire		

Compétences attendues :

- Concevoir et implémenter les couches DAL, Business et Service d'une architecture logicielle
- Maîtriser l'utilisation de micro-services
- Comprendre et mettre en oeuvre le déploiement d'un produit à l'aide de micro-services

Pré-requis :

- Conception Logiciel (S5)

Contenu :

1. Architectures logicielles

Ce chapitre présente les différentes architectures logicielles et notamment l'architecture en couche, principale architecture utilisée dans le développement logicielle. Plus précisément les couches DAL (Data Access Layer), Métier (Business) et Service ainsi que les différentes techniques de liaison seront étudiées.

2. Micro-services & déploiement

Ce chapitre s'intéresse dans un premier temps à l'utilisation de micro-services.

Dans un deuxième temps, on s'intéressera au déploiement d'architecture logicielle en s'appuyant sur le concept de micro-services.

Bibliographie :

Aucune

Conception Logicielle <i>Database Design</i>			
Code ECUE <i>Course code:</i> COL		UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	15h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard	T.D. <i>Tutorials</i>	15h00
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5A	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	24h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	54h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	14h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Utilisation d'un langage de modélisation UML et du langage de programmation objet Java, C++ et Ada
- Concepts avancés de la programmation orientée objet (Polymorphisme, Généricité, Patrons de conception)
- Principaux patrons de conception (Pattern Design)

Pré-requis :

Une pratique d'un langage de programmation procédural

Contenu :

1. Conception et Implémentation d'un logiciel selon le paradigme objet

Cette partie est consacrée à l'apprentissage de la conception orientée objet d'un logiciel à partir d'un cahier des charges. Nous verrons alors les différents concepts associés à chacune des premières étapes d'un cycle de développement : spécification conception, implémentation.

2. Patrons de conception

Afin de satisfaire les critères de qualité logiciel une partie de ce chapitre sera consacrée à l'étude et la mise en œuvre des principaux patrons de conception (Pattern Design).

Toutes ces notions seront largement mises en œuvre au cours des différentes séances de travaux dirigés. Les langages de programmation objet utilisés dans le cadre de ce module sont Java, C++, Ada.

Bibliographie :

Aucune

Vérification et Validation Logicielle
Software Verification & Validation

Code ECUE *Course code:* **VVL**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	7h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard	T.D. <i>Tutorials</i>	7h30
Période <i>Year of study</i>	A	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5A	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Maîtriser l'écriture de spécifications robustes
- Maîtriser l'écriture et la mise en oeuvre de tests unitaires
- Maîtriser l'écriture et la mise en oeuvre de tests d'intégration
- Intégrer les spécifications au code : un pas vers la validation formelle

Pré-requis :

Une pratique d'un langage de programmation procédural (Ada) et Objet (Java, Ada)

Contenu :

1. Assertions & spécifications

Rappels des bases de l'écriture d'assertions et spécifications (schéma à posteriori)

2. Vérification logicielle par tests

Traduction des spécifications en tests unitaires. Mise en oeuvre de la PDT (Programmation Dirigée par les Tests).

Nécessité des tests d'intégrations en lien avec la conception logicielle.

3. Validation logicielle

Intégrer les assertions et spécifications au code afin de permettre une validation formelle en utilisant un framework de preuves.

Bibliographie :

Aucune

Cours Electifs Systèmes Session 1 (A3)
Elective course Systems first session (3rd year)

Code ECUE *Course code:* CE1

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-1 (5 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Codes de calculs industriels par la simulation des écoulements turbulents
- Fluage
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Management de projet
- Mécanique spatiale et contrôle d'altitude
- Le PLM, transformation digitale et gestion de projet

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Industrial codes for CFD
- Creep
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Project management
- Astrodynamics and orbital propulsion
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Automatique pour l'avionique
Flight control automation

Code ECUE *Course code:* **AAV**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	H. Bauer	T.D. <i>Tutorials</i>	10h00
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	20h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	09h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

Asseoir les connaissances de base de l'automatique, par l'application sur un cas concret et d'élargir ces connaissances à des techniques plus avancées. Ce cours s'adresse aux étudiants, spécialistes ou non, mais intéressés par cette discipline fortement présente dans le développement des avions d'aujourd'hui et de demain.

Pré-requis :

- Informatique aux Systèmes Embarqués (S1)
- Ingénierie des Systèmes critiques (S3)

Contenu :

On se propose dans ce module d'appliquer et d'étendre autant que faire se peut les concepts d'automatique qui ont été introduits en 2ème année. Il s'agira ici de traiter le cas concret du réglage des commandes de vol et des lois de pilotage d'un avion de transport civil, dans le plan longitudinal. Le système à étudier est par nature multi entrées (multi sorties MIMO) puisque l'on dispose de la commande moteur et de la gouverne de profondeur pour assurer le contrôle de l'avion.

Pour synthétiser les lois, une première approche consistera à faire des hypothèses de découplage de manière à se ramener au traitement d'un problème mono entrée sur lequel les techniques de bases de l'automatique pourront s'appliquer. Ensuite, nous introduirons des notions relatives aux systèmes MIMO de manière à pouvoir lever les hypothèses de découplage.

Après quelques rappels théoriques, la principale activité de ce module consistera en l'analyse du modèle et du cahier des charges, pour ensuite mener la synthèse des lois de commande. Le modèle et le cahier des charges correspondent tous deux à des données réelles. Les méthodes qui seront appliquées, sont elles aussi directement issues des techniques utilisées à ce jour pour régler les commandes de vols et loi de pilotage des avions de la famille AIRBUS.

Le module se déroulera en grande partie sur Matlab Simulink. Les principaux fichiers seront fournis de manière à limiter le temps de programmation pour focaliser le travail sur la synthèse et l'analyse des lois

Bibliographie :

Aucune

Ingénierie des modèles
Model-Based Systems Engineering

Code ECUE Course code: IDM		UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	10h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	E. Grolleau	T.D. <i>Tutorials</i>	10h00
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5A	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	4h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	24h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	09h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

Les systèmes d'aujourd'hui intègrent les technologies de l'information, des capteurs, du contrôle et de la communication pour fournir des services. Le développement et la maintenance de ce type de systèmes nécessitent de faire collaborer des ingénieurs issus de différents domaines avec différents points de vue. Dans le cadre d'ingénierie système et d'ingénierie des modèles, ce processus collaboratif est souvent guidé par des méthodologies standardisées et outillées. Les compétences acquises à travers ce cours vont permettre aux acteurs du domaines de passer du simple rôle « utilisateur » de langages et outils à un méta-rôle de « concepteur et développeur » de méthodes rigoureuses dédiées à leurs domaines particuliers. Dans cette perspective, les objectifs de ce cours sont :

- Acquérir des concepts, des méthodes, des langages et des outils permettant la modélisation et la méta-modélisation, l'exploitation des données fortement structurées ainsi que la transformation des modèles.
- Apprendre à créer des langages de modélisations dédiés
- Comprendre le rôle de la méta-modélisation dans le processus d'intégration des modèles fortement hétérogènes
- Apprendre à gérer l'évolution des domaines et la variabilité des systèmes

Pré-requis :

Il est conseillé d'avoir suivi le cours « Conception et Programmation Objet » et d'avoir des connaissances de bases de données.

Contenu :

Un ensemble de langages de modélisation, de gestion de contraintes et de transformation est étudié : MOF, Ecore, OCL, ATL, QVT, Acceleo, etc. Le langage XML est aussi étudié afin de permettre l'échange des données, des modèles et des méta-modèles entre les partenaires des entreprises étendues.

- Modélisation & Méta Modélisation, MOF
- Langage Ecore et OCL
- Instanciation statique et dynamique
- Transformation de modèles : model-to-model et model-to-text
- Ontologie
- XML, DTD, XSD, XPATH et XSLT

Bibliographie :

- Jean Marc Jézéquel, Benoît Combemale, Didier Vojtisek, Ingénierie dirigée par les modèles : Des concepts à la pratique, Ellipses
- A. Michard, XML - Langage et applications, Eyrolles
- Le site W3C : <http://www.w3.org/XML/Core>
- Common Warehouse Metamodel (CWM) : <http://www.omg.org/spec/CWM/>
- Anneke Kleppe, Jos Warmer, and Wim Bast. MDA Explained: The Practice and Promise of The Model Driven Architecture. Addison Wesley Professional, 2003.

Interfaces Hommes-Systèmes
Human-system interaction

Code ECUE *Course code:* **IHS**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	12h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard	T.D. <i>Tutorials</i>	12h30
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5A	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	25h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	11h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Conception et implémentation d'une interface graphique de type client lourd en JavaFx
- Conception et l'implémentation d'une interface graphique de type client riche en VueJS
- Conception et implémentation multithread

Pré-requis :

- Conception Logiciel (S5A)

Contenu :

Après avoir présenté les principaux modèles d'architectures d'interfaces (MVC, MVP, MVVM), et les différents types de clients (lourd, léger et riche), ce module s'intéressera à la mise en œuvre de ces concepts dans deux cadres.

1. Conception et Implémentation d'un client lourd & lien avec l'architecture logicielle sous-jacente

Cette partie détaillera les architectures MVC et MVP tout d'abord en mono-agent puis en multi-agent. Elle présentera également les différents branchements possibles avec l'architecture logicielle du noyau fonctionnel de l'application. La boîte à outils graphique JavaFx sera utilisée ici.

La mise en œuvre d'application multithread en lien avec une IHS sera également étudiée.

2. Conception et Implémentation d'un client riche & lien avec l'architecture logicielle sous-jacente

Dans ce chapitre, après présentation des spécificités de la programmation web, nous présenterons les méthodes de conception et d'implémentation de ce type de client en s'appuyant sur le framework VueJS. Enfin les méthodes de liaison avec une architecture micro-services seront étudiées.

Toutes ces notions seront largement mises en œuvre au cours des différentes séances de travaux dirigés

Bibliographie :

Aucune

Cours Electifs Systèmes Session 2 (A3)*Elective course Systems second session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE2***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-2 (5 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Aéroélasticité des avions
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Moteurs électriques et propulsion automobile
- Systèmes avioniques
- Qualité
- Sécurité incendie et explosions
- Propriété industrielle

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Plane aeroelasticity
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Electric motors and automotive propulsion
- Avionics systems
- Quality
- Fire safety
- PLM, digital transformation and project management

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Programmation Embarquée
Programming embedded systems

Code ECUE *Course code:* **PEM**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	7h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	E. Grolleau	T.D. <i>Tutorials</i>	7h30
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	12h00
Semestre <i>Semester</i>	S5A	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	27h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Option Système	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Savoir utiliser un système d'exploitation temps réel (RTOS). Nécessite les connaissances :
 - Généralités sur les systèmes d'exploitation temps réel (RTOS) et leurs grandes différences par rapport aux systèmes généralistes
 - Différentes études de cas de RTOS différents
- Programmer avec les bonnes pratiques en C (par exemple MISRA-C)
- Implémenter une application temps réel sur des RTOS.
 - Connaissance de plusieurs API de RTOS différents
- Traduire une conception exprimée dans un ADL (Architecture Design Language) vers différents RTOS, et connaître les limitations imposées par certains de ces RTOS

Pré-requis :

- Informatique Numérique (S1)
- Informatique aux Systèmes Embarqués (S1)
- Ingénierie des Systèmes critiques (S3)

Contenu :

- La norme MISRA-C et les métriques de caractérisation du code
- Programmation sur RTOS
 - Norme POSIX pthread
 - La norme AUTOSAR classic
 - Le RTOS VxWorks
 - La norme ARINC 653

Bibliographie :

- E. Grolleau, J. Hugues, Y. Ouhammou, H. Bauer, « Introduction aux systèmes embarqués temps réel, Conception et mise en œuvre », Dunod, 2018
- F. Cottet, E. Grolleau, S. Gérard, J. Hugues, Y. Ouhammou, S. Tucci-Piergiovanni, « Systèmes temps réel embarqués - 2e édition, Spécification, conception, implémentation et validation temporelle », Dunod, 2014

Validation temporelle <i>Temporal validation</i>			
Code ECUE Course code: VAT		UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	8h45
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	E. Grolleau	T.D. <i>Tutorials</i>	8h45
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	17h30
Type de cours <i>Type of course</i>	Option Système	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Caractériser au moins de façon dynamique la durée d'exécution d'une fonction
- Savoir valider temporellement un système temps réel par des méthodes heuristiques conservatives
- Savoir choisir un ordonnanceur pour un système temps réel tout en connaissant ses conditions d'optimalité ou non
- Savoir modéliser de façon formelle un système temps réel dans un modèle représentant le temps
- Exprimer des propriétés formelles en logique temporelle
- Savoir utiliser un outil de model checking

Pré-requis :

- Informatique Numérique (S1)
- Informatique aux Systèmes Embarqués (S1)
- Ingénierie des Systèmes critiques (S3)
- Programmation Embarquée (S5)

Contenu :

- Analyse dynamique de durée moyenne d'exécution et de pire durée
- Validation par simulation et problèmes de viabilité
- Optimalité des algorithmes à priorités fixes aux tâches
- Analyse de temps de réponse par Response-Time Analysis
- Cas des tâches dépendantes
- Modélisation par réseaux de Petri temporels
- Logique temporelle Linéaire et Arborescente
- Logique Param-TPN-PTCTL

Bibliographie :

- E. Grolleau, M. Richard, P. Richard, F. Ridouard, « Ordonnancement temps réel », Techniques de l'Ingénieur, 2013.
- E. Grolleau, J. Hugues, Y. Ouhammou, H. Bauer, « Introduction aux systèmes embarqués temps réel, Conception et mise en œuvre », Dunod, 2018
- F. Cottet, E. Grolleau, S. Gérard, J. Hugues, Y. Ouhammou, S. Tucci-Piergiovanni, « Systèmes temps réel embarqués - 2e édition, Spécification, conception, implémentation et validation temporelle », Dunod, 2014

Simulation des Systèmes Embarqués
Embedded systems simulation

Code ECUE *Course code:* **SSE**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3a (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	6h15
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	O. Fourcade	T.D. <i>Tutorials</i>	6h15
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	12h30
Type de cours <i>Type of course</i>	Option Système	Travail personnel <i>Homework</i>	05h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Avoir des connaissances sur la simulation, la modélisation et la représentativité, la simulation distribuée, la représentation du temps. Les outils utilisés sont Matlab et Simulink.

Pré-requis :

- Informatique Numérique (S1)
- Informatique aux Systèmes Embarqués (S1)
- Ingénierie des Systèmes critiques (S3)
- Signal et Systèmes (S2 et S3)

Contenu :

1. Généralités sur la simulation
2. Classifications (opérationnelle, scientifique, technique, à événements/périodique/continue, statique/dynamique/monolithique/distribuée)
3. Représentation du temps et solveur
4. Simulation distribuée
5. Modélisation et représentativité
6. Outils : Matlab et Simulink

Bibliographie :

- H. Klee, R. A. Poole Simulation of Dynamic Systems with Matlab and Simulink,
- A. Cervin, The Real-Time Control System simulator – ref. Manual

Données Intelligentes <i>Smart Data</i>			
Code ECUE <i>Course code:</i> DOI		UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	7h30
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	B. Chardin	T.D. <i>Tutorials</i>	7h30
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	8h00
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	23h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Option Données	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Modéliser un problème de décision en termes de programme d'optimisation linéaire.
- Savoir utiliser un solveur et interpréter les résultats.
- Comprendre l'importance du prétraitement des données et connaître les techniques applicables.
- Savoir mettre en oeuvre une démarche de préparation des données.

Pré-requis :

- Information Numérique (S1)
- Utilisation et exploitation des données (S2)
- Calcul scientifique (S3)

Contenu :

- Programmation par contrainte
 - programmation linéaire
 - programmation linéaire en nombre entiers
 - problèmes de satisfaction de contraintes
 - processus de modélisation, résolution et interprétation
 - implémentation avec IBM ILOG CPLEX
- Ecosystème de Data Science
 - Data engineering
 - Data analytics
 - Data protection
 - Data ethics
- Prétraitement des données
 - Impact de la qualité des données sur leur traitement
 - Identification et correction des données erronées
 - Processus ETL (Extract, Transform, Load)
 - Data profiling
 - Contribution des ontologies et du web sémantique dans la préparation des données
 - Compréhension par analyse des données d'entrée

Bibliographie :

- Dantzig George, Thapa Mukund, Linear Programming 1: Introduction. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, 2003.
- Dantzig George, Thapa Mukund, Linear Programming 2: Theory and Extensions. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, 2003.
- Marriott , K., Stuckey, P., Programming with constraints : an introduction, The MIT Press, 1998
- Mazhar Hameed and Felix Naumann. 2020. Data Preparation: A Survey of Commercial Tools. SIGMOD Rec. 49, 3 (September 2020), 18–29.
- Panik, M.J., Linear Programming: Mathematics, Theory and Algorithms, 1996.
- Vasilyev, F.P., Ivanitskiy, A.Y., In-Depth Analysis of Linear Programming, 2001
- Wolsey, L., Integer programming, Wiley-Interscience series in discrete mathematics and optimization. J., Wiley & sons, New York (N.Y.), Chichester, Weinheim, 1998

Fouille de Données et Apprentissage
Datamining and Machine Learning

Code ECUE *Course code:* **FDA**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	15h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	B. Chardin	T.D. <i>Tutorials</i>	15h00
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	4h00
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	34h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Option Données	Travail personnel <i>Homework</i>	07h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Comprendre et savoir utiliser les techniques principales d'extraction de connaissances et d'apprentissage automatique

Pré-requis :

- Information Numérique (S1)
- Utilisation et exploitation des données (S2)

Contenu :

- Fouille de données
 - itemsets fréquents
 - règles d'association
 - dépendances fonctionnelles et variantes
 - mesures d'intérêt applicables aux règles générées
- Apprentissage automatique
 - problèmes de classification et de régression
 - classification non supervisée (partitionnement)
 - apprentissage supervisé (arbres et forêts de décision, SVM, réseaux de neurones)
 - méthodologie de validation expérimentale
 - apprentissage par renforcement
 - explicabilité des modèles et des résultats

Bibliographie :

- Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei. 2011. Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd Edition. ISBN: 978-0-12-381479-1. Elsevier, 2011.
- Goodfellow, I., Bengio, Y. & Courville, A. (2016). Deep Learning. ISBN: 9780262035613.
- Géron, A. (2019). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. ISBN: 9781492032649.

Cours Electifs Systèmes Session 3 (A3)*Elective course Systems third session (3rd year)***Code ECUE** *Course code: CE3***UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)**

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
		Projet <i>Project</i>	:
		Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>		
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>		
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Corrosion des matériaux industriels
- Optimisation en aérodynamique appliquée
- Droit des affaires
- Intelligence économique
- Mécanismes spatiaux
- Systèmes intelligents de décision

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students must choose between one of these courses:

- Corrosion of engineering materials
- Optimization in applied aerodynamics
- Business law
- Business intelligence
- Space systems
- Intelligent decision-making systems

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Cours Electifs Systèmes Session 4 (A3)
Elective course Systems fourth session (3rd year)

Code ECUE *Course code:* **CE4**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-3b (5 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Enseignants de l'ENSMA et Intervenants extérieurs <i>ENSMA Teachers and Guest speakers</i>	Cours <i>Lectures</i>	: 12h30
		T.D. <i>Tutorials</i>	:
		T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Projet <i>Project</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestre 5 <i>5th semester</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 examen écrit <i>1 written exam</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 12h30
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 05h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire/Electif <i>Compulsory/Elective</i>		
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues : Développer des compétences techniques sur des domaines variés reliés à des systèmes dans les domaines du transport et de l'énergie.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Les étudiants ont le choix parmi l'un des cours suivants :

- Dimensionnement en fatigue des structures
- Initiation à la mise en œuvre d'un projet innovant
- Santé et sécurité au travail
- Contrôle non destructif
- Métrologie en mécanique des fluides
- Normes avioniques

Les fiches de ces cours sont disponibles en annexe à ce syllabus.

Bibliographie : Spécifique aux cours électifs

Expected competencies: To develop technical skills in a variety of fields related to transportation and energy systems.

Prerequisites: None

Content:

The students have to choose between one of these courses:

- Fatigue design
- Introduction to the implementation of an innovative project
- Occupational safety and health
- Non-destructive testing
- Metrology in fluid mechanics
- Certification of embedded software system

Course descriptions are appended to this syllabus.

Recommended reading: Specific to elective courses

Bureau d'études
Advanced Design Project

Code ECUE *Course code:* **BET**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>	
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard, B. Chardin, M. Baron	T.D. <i>Tutorials</i>	
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>	90h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	1 écrit	Non encadré <i>Unsupervised</i>	30h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i>	120h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i>	20h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>		

Compétences attendues :

- Savoir aborder un problème concret dans son ensemble
- Travailler en équipe

Pré-requis :

Aucun

Contenu :

Il s'agit de travaux effectués par des groupes d'une dizaine d'élèves.

Les thèmes proposés sont, pour la plupart, établis en collaboration avec des entreprises et font appel aux connaissances théoriques acquises dans un des domaines relevant de l'option choisie pour la troisième année.

C'est l'occasion d'un apprentissage du travail de groupe où chacun doit contribuer à l'aboutissement de l'étude. Ainsi l'élève doit faire preuve d'autonomie tout en apprenant à communiquer et à travailler en équipe. L'encadrement des enseignants n'est pas trop contraignant de façon à permettre le développement des initiatives et de l'imagination des participants tout en maintenant la rigueur scientifique indispensable.

Le rapport de synthèse doit faire apparaître le déroulement du travail et décrire très soigneusement la démarche et l'étude scientifique réalisée.

Sujets :

- Langage de conception pour les drones ardupilot
- Projet Cansat
- Internet des objets et Contrôle des objets connectés

Bibliographie :

Aucune

Projet Innovation et Développement Durable
Innovation and Sustainable Development Project

Code ECUE *Course code:* **PID**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)

Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Y Pannier, Y Nadot	Cours <i>Lectures</i>	:
Période <i>Year of study</i>	: 1 ^{ère} à 3 ^{ème} année <i>1st to 3rd year</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: Semestres 1, 3 et 5 / <i>Semesters 1, 3 & 5</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport écrit + 1 exposé par semestre / <i>1 report + 1 oral per semester</i>	Projet <i>Project</i>	: 15h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	: 15h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 30h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Premier et Second cycle universitaire <i>Undergraduate/Graduate</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 07h00

Compétences attendues :

- Faire preuve de sens de l'organisation et de rigueur
- Faire preuve de responsabilité, d'esprit d'équipe, d'engagement et de leadership
- Trouver l'information pertinente, l'évaluer et l'exploiter
- Faire preuve de capacité d'analyse et de synthèse
- Faire preuve de créativité et de rigueur scientifique
- Argumenter et justifier ses résultats
- Communiquer à l'oral en français
- Communiquer à l'écrit en français (communication du fond)
- Rédiger en français (communication forme orthographe grammaire)
- Prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable : énergie et environnement, écoconception, analyse du cycle de vie (ACV)
- Prendre en compte les enjeux et les besoins de la société, notamment en termes de mobilité et d'énergie

Pré-requis :

aucun

Contenu :

Projet d'envergure avec une démarche de type 'programme' d'une entreprise (jalons, livrables) qui comporte 3 principales phases qui mobilisent les 3 années de la manière suivante :

Semestre 1 : Cahier des charges

Mise en contexte du sujet et prise en main de la problématique, analyse des ordres de grandeurs, mise en application du cours 'énergie environnement les défis' et RSE. Le livrable finale sera le cahier des charges détaillé à livrer aux groupes de Semestre 3.

Semestre 3 : Avant-Projet et prototypage

A partir du cahier des charges livré par les groupes du semestre 1, l'objectif principal de ce semestre est de réaliser une étude d'avant-projet pour faire une évaluation de faisabilité du cahier des charges. La première étape est la phase de décision sur le cahier des charges étudié : « oui on peut passer en phase projet, non il faut reprendre le cahier des charges ». L'objectif final est de produire la revue de définition préliminaire ainsi qu'un démonstrateur numérique ou physique. Le FUTUROLAB sera le cadre de réalisation de cette phase de prototypage.

Semestre 5 : phase projet

A partir des résultats de la phase d'avant-projet, réaliser la phase projet détaillée qui va mobiliser les ressources techniques 'métier'. Il sera nécessaire à ce stade de respecter un cadre normatif ou une certification pour justifier le dossier technique final auprès d'un organisme externe.

Expected Competencies:

- Demonstrates organizational skills and rigour
- Demonstrate responsibility, teamwork, commitment and leadership
- Find, evaluate and exploit relevant information
- Demonstrate analytical and synthesis skills
- Demonstrate creativity and scientific rigour
- Argue and justify results
- Communicate orally in French
- Communicate in writing in French (substantive communication)
- Writing in French (communication in the form of grammar spelling)
- Take account of environmental issues, particularly by applying the principles of sustainable development: energy and environment, ecodesign, life cycle analysis (LCA)
- Taking into account the challenges and needs of society, particularly in terms of mobility and energy

Prerequisites:

none

Content:

Major project with a “program” approach of a company (milestones, deliverables) that has 3 main phases that mobilize the 3 years as follows:

Semester 1: Specifications

Contextualization of the subject and handling of the problem, analysis of order of magnitude, implementation of the course “energy environment challenges” and CSR. The final deliverable will be the detailed specifications to be delivered to the groups of Semester 3.

Semester 3: Pre-Project and prototyping

Based on the specifications delivered by the groups of semester 1, the main objective of this semester is to carry out a preliminary project study to make a feasibility assessment of the specifications. The first step is the decision phase on the specifications studied: «yes you can go into the project phase, no you must take back the specifications». The final objective is to produce the preliminary definition review as well as a digital or physical demonstrator. FUTUROLAB will be the framework for this prototyping phase.

Semester 5: Project phase

Based on the results of the pre-project, carry out the detailed project phase that will mobilize the technical resources “business line”. It will be necessary at this stage to respect a normative framework or a certification to justify the final technical file to an external organisation.

Travaux pratiques <i>Lab works</i>		
Code ECUE <i>Course code:</i> TPR	UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-4 (11 ECTS)	
Département <i>Department</i>	IA	Cours <i>Lectures</i>
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	M. Richard, E. Grolleau, B. Chardin, L. Bellatreche, A. Hadj Ali	T.D. <i>Tutorials</i>
Période <i>Year of study</i>	A3	T.P. <i>Laboratory sessions</i> 35h00
Semestre <i>Semester</i>	S5B	Projet <i>Project</i>
Évaluation <i>Assessment method(s)</i>	Compte rendu	Non encadré <i>Unsupervised</i>
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	Français	Horaire global <i>Total hours</i> 35h00
Type de cours <i>Type of course</i>	Obligatoire	Travail personnel <i>Homework</i> 10h00
Niveau <i>Level of course</i>	Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues :

Mettre en œuvre les différentes notions abordées dans les cours des périodes A et B.

Pré-requis : Avoir suivi l'ensemble des cours des périodes A et B du S5.

Contenu :

La répartition des TP se fait de la manière suivante :

- Temps Réel (3 TP)
 - POSIX temps réel pour l'embarqué, Osek-AUTOSAR pour l'embarqué
- Ingénierie des données (2TP)
 - Ecore, OCL , Xtext, Sirius, Java, EMF, Acceleo
- CPO (3 TP)
 - Java/Pattern Design/TDD
 - SEEHEIM
 - MVC

Bibliographie : Aucune

Education physique et sportive
Sport

Code ECUE *Course code: EPS*

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-5 (3 ECTS)

Département <i>Department</i>	: FGH	Sessions :
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: F. Bourdon	1 ^{er} semestre <i>1st semester</i> : 17h30
Période <i>Year of study</i>	: 1 ^{ère} à 3 ^{ème} année <i>1st to 3rd year</i>	2 ^{ème} semestre <i>2nd semester</i> : 15h00
Semestre <i>Semester</i>	: Du 1 ^{er} semestre au 5 ^{ème} semestre <i>From 1st semester to 5th semester</i>	3 ^{ème} semestre <i>3rd semester</i> : 15h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Contrôle continu <i>Continuous assessment</i>	4 ^{ème} semestre <i>4th semester</i> : 11h15
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français <i>French</i>	5 ^{ème} semestre (période a) <i>5th semester (period a)</i> : 12h30
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	5 ^{ème} semestre (période b – facultatif) <i>5th semester (period b – optional)</i> : 10h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Premier et Second cycle universitaire <i>Undergraduate/Graduate</i>	

Compétences attendues :

- S'engager avec lucidité et pertinence. Ressources mobilisées : règles de sécurité, stratégies, logiques d'action, connaissance des matériels.
- S'impliquer régulièrement et mobiliser ses ressources en adaptant sa gestuelle, habiletés et coordination, déplacements, prise d'informations, investissement énergétique et informationnel.

Contenu :

Les activités physiques et sportives ont toujours fait partie du programme de l'école. Une demi-journée par semaine est réservée à leur pratique. Ainsi sont regroupés au même moment les élèves des trois promotions désirant participer à la même activité.

La priorité consiste dans un premier temps à redonner le goût de l'effort physique et de la compétition à des étudiants qui ont pour la plupart arrêté toute activité pendant deux années entières.

Les qualités développées par l'implication des étudiants dans ces pratiques contribuent à l'amélioration des conditions d'entrée dans la vie active.

Les enseignants, au nombre de deux, organisent la vie physique, mais aussi animent et gèrent les différentes associations sportives et culturelles (FFSU...).

Le jeudi après-midi permet de participer aux compétitions dans tous les sports.

De plus, l'ENSMA participe annuellement au Championnats d'académies et au tournoi inter-écoles aéronautiques européennes (European Aeronautical student Games).

1 choix par an parmi les sports suivants : Volley-ball, Football, Handball, Rugby, Basket-ball, Musculation, Badminton, Golf, Course d'orientation et Natation.

Expected competencies:

- Engage with lucidity and appropriately. Resources mobilized: safety rules, strategies, logic of action, knowledge of the equipment.
- Regularly get involved and mobilize resources by adapting movements, skills and coordination, information gathering, energy and information investment.

Content:

Sports activities have been included in the academic curriculum since the foundation of ENSMA. For each student, 1 half-day is devoted weekly to the practice of sport. Activities are designed to involve 1st year, 2nd year and 3rd year students together for the practice of the sports they have selected.

The main objective is to have students rediscover the pleasure of competition, most of them having stopped physical activity for 2 years, prior to their admission to ENSMA.

The qualities developed by the implication of students in these activities contribute to the improvement of their start in professional life.

Two teachers supervise and coach students. They also have an active role in the management of sports clubs and cultural activities (FFSU, i.e. college sports league).

Each Thursday afternoon, ENSMA teams take part in university competitions.

Moreover, ENSMA students participate yearly in major championships such as the Academies Championships and the traditional inter-schools tournaments of European graduate schools in aeronautical engineering (European Aeronautics student Games).

1 choice per year among the following sports: Volley-ball, Football, Handball, Rugby, Basket-ball, Bodybuilding, Badminton, Golf, Orienteering course and Swimming.

Professional communication
Professional communication (English version)

Code ECUE *Course code:* PRC

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-5 (3 ECTS)

Département <i>Department</i>	: FGH	Cours Lectures	:
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: M. Elliott, A. Glad, R. Marshall-Courtois	T.D. Tutorials	: 22h30
Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année / 3 rd year	T.P. Laboratory sessions	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^e semestre / 5 th semester	Projet <i>Project</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Contrôle continu / <i>Continuous assessment</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Anglais / <i>English</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	: 22h30
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire / <i>Compulsory</i>	Travail personnel <i>Homework</i>	: 11h00
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire / <i>Graduate</i>		

N.B.: Au semestre 5, tous les étudiants suivent le cours "Professional Communication". Ils sont répartis par groupes de niveau.

Compétences attendues :

- Pouvoir communiquer à l'oral en anglais dans une situation professionnelle
- Être capable d'analyser une situation de communication et d'agir en conséquence

Pré-requis :

- Niveau CECR B1 minimum

Contenu :

- Les cours peuvent porter sur la préparation/réalisation d'une présentation orale et/ou la conduite de réunion, et/ou l'argumentation, la persuasion et la négociation en langue anglaise

Bibliographie :

- D.Lax, J. Sebenius, *3D negotiation*, Harvard Business Review Press 2006
- E. Bernays, *Crystalizing public opinion* (1923), G&D Media 2019
- Ciceron: *De Oratore* (55 avant J-C)

Please Note; During semester 5, all students follow the "Professional Communication" course. Groups are based on English proficiency.

Expected competencies:

- To be able to communicate orally in English in a variety of professional situations
- To be able to analyse communication strategies and react to them

Prerequisites:

- Minimum: CEFR B1 level

Content:

- The content of the course can be the preparation and delivery of an oral presentation, and/or meeting organization and moderation, and/or argumentation, persuasion and negotiation (integrative and distributive)

Recommended reading:

- D.Lax, J. Sebenius, *3D negotiation*, Harvard Business Review Press 2006
- E. Bernays, *Crystalizing public opinion* (1923), G&D Media 2019
- Ciceron: *De Oratore* (55 avant J-C)

Langue Vivante II <i>Second foreign language</i>		UE (ECTS supplémentaires LV2) : UE5-5 (1 ECTS)	
Code ECUE <i>Course code: LV2</i>			
Département <i>Department</i>	: FGH	T.D. Tutorials	Semestre 1 : 18h00
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: Intervenants extérieurs <i>Guest speakers</i>		Semestre 2 : 22h00
	: 1 ^{ère} à 3 ^{ème} année <i>1st to 3rd year</i>		Semestre 3 : 20h00
Période <i>Year of study</i>	: Du 1 ^{er} semestre au 5 ^{ème} semestre		Semestre 4 : 16h00
Semestre <i>Semester</i>	: <i>From 1st semester to 5th semester</i>		Semestre 5 : 30h00
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Contrôle continu <i>Continuous assessment</i>	Travail personnel	Semestre 1 : 09h00
	: Variés <i>Various</i>	<i>Homework</i>	Semestre 2 : 11h00
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Facultatif <i>Optional</i>		Semestre 3 : 10h00
Type de cours <i>Type of course</i>	: Premier et Second cycle universitaire		Semestre 4 : 08h00
Niveau <i>Level of course</i>	: <i>Undergraduate/Graduate</i>		Semestre 5 : 15h00

Compétences attendues : Découvrir ou se spécialiser dans une deuxième langue vivante.

Pré-requis : Niveau/connaissances minimums requis sont déterminés par l'intervenant du groupe/niveau

Contenu : Les étudiants ont le choix entre les langues suivantes :

Allemand, chinois, espagnol, français-langue-étrangère (étudiants internationaux : dispense éventuelle du cours de FLE décidée uniquement par le professeur après test de positionnement, possibilité de prendre un LV2 pour remplacer le FLE), italien, japonais, russe, soutien TOEIC (pour les étudiants de deuxième et troisième année n'ayant pas encore obtenu le score minimum requis pour obtenir leur diplôme).

Les enseignements varient chaque année en fonction des demandes. Les élèves sont répartis en groupes de niveau. L'objectif est d'être capable de s'exprimer dans la vie courante, à partir de situations de la vie courante et de sujets d'actualité.

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Reaching threshold level in a second foreign language or advancing to levels B1 to C1.

Prerequisites: Prior language level requirements determined by the instructor of the language course/level

Content: The students can choose from the list of the following languages:

German, Chinese, Spanish, French as a Foreign Language (International students: possible exemption from the FLE course decided only by the teacher after a placement test, possibility to take a second language to replace French as a foreign language), Italian, Japanese, Russian, TOEIC remedial courses (for 2nd and 3rd year students having not yet obtained the minimum score required for graduation)

Choice of classes taught may change each year, depending on demand. Students are streamed into groups, based on their skills. The aim is to develop language skills with emphasis on daily life and current issues.

Recommended reading: None

Anglais soutien <i>English Tutoring</i>		
Code ECUE <i>Course code:</i> SOU	UE (ECTS supplémentaires SOU) : UE5-5 (0 ECTS)	
Département <i>Department</i>	: FGH	Cours Lectures :
Coordonnateurs <i>Lecturers</i>	: M. Elliott, A. Glad : 2e année / 2nd year	T.D. Tutorials : 32h00
Période <i>Year of study</i>	: 2 ^{ème} année, 3 ^{ème} année	T.P. Laboratory sessions :
Semestre <i>Semester</i>	: semestres 3, 4, 5 3 rd , 4 th and 5 th semesters	Projet Project :
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Contrôle continu / Continuous assessment	Non encadré Unsupervised :
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Anglais / English	Horaire global Total hours : 32h00
Type de cours	: Obligatoire pour les étudiants en difficulté / <i>compulsory for students in difficulty</i>	Travail personnel Homework :
Niveau	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	

Compétences attendues :

- Amener l'élève vers la certification B2 au test Toieic LR et ses compétences associées

Contenu :

- Entraînement aux stratégies à mettre en œuvre pour améliorer son score, tutorat individualisé

Bibliographie :

ETS Toeic LR series, volume 1-10. Editeur : 国際ビジネスコミュニケーション協会

Expected competencies:

- compétences listées par le CECR pour le niveau B2

Content:

- Practice of strategies for boosting the students' Toeic LR score and obtaining a B2 certification

Recommended reading:

ETS Toeic LR series, volume 1-10. Publisher : 国際ビジネスコミュニケーション協会

Culture professionnelle et citoyenne
Professional and civic culture

Code ECUE *Course code:* **CPC**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE5-6 (1 ECTS)

Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Cours <i>Lectures</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: 5 ^{ème} semestre <i>5th semester</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: Assiduité <i>Attendance</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français/Anglais <i>French/English</i>	Projet <i>Project</i>	:
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	:
		Travail personnel <i>Homework</i>	: 20h00

Compétences attendues : Développer des connaissances et compétences complémentaires extrascolaires, via la participation à des activités dans le cadre de la vie de l'école, de la vie professionnelle et citoyenne.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

Exemples d'activités pour le cinquième semestre :

- Participation dans une instance de l'établissement ou élection en tant que délégué/e élève
- Réunion de rentrée A3
- Présentation des masters
- 2 réunions d'information PFE
- 2 rencontres métiers avec Alumni
- Forum entreprises
- Visite du parrain/de la parraine de promo
- 4 conférences

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: To develop knowledge and additional extracurricular skills, through participation to school, professional and civic activities.

Prerequisites: None

Content:

Examples of activities in the fifth semester:

- Participation in a school instance or election as a student delegate
- Back-to-school meeting A3
- Master's degree presentation
- 2 graduation project's internship information meetings
- 2 "jobs" meeting with alumni
- Company forum
- Visit of the promotion's sponsor
- 4 conferences

Recommended reading: None

Validation des activités extra-scolaires (facultatif)
Validation of extra-curricular activities (optional)

Code ECUE *Course code:* VAE

UE (ECTS supplémentaires VAE) : UE5-6 (1 ECTS)

Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Cours <i>Lectures</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: S5	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	:	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Type de cours <i>Type of course</i>	: Facultatif	Projet <i>Project</i>	:
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
		Horaire global <i>Total hours</i>	:
		Travail personnel <i>Homework</i>	:

Compétences attendues :

Les recruteurs ne cherchent plus à embaucher seulement d'excellents scientifiques, mais surtout des ingénieurs, certes compétents sur le plan technique, mais aussi capables de prendre des responsabilités :

- Travail en groupe
- Gestion d'équipes
- Gestion de crédits
- Gestion de délais.

L'ISAE-ENSMA comme beaucoup d'écoles, a intégré dans le cursus quelques cours dans ce domaine.

Mais l'ISAE-ENSMA suit également une approche qui découle du constat suivant : il existe au sein de l'Ecole de nombreuses activités qui font appel à ces qualités (Cercle des Elèves, organisation du gala, associations culturelles, sportives, humanitaires, projets scientifiques...).

Les élèves ayant participé à ces activités devront, lors de futurs entretiens d'embauche, montrer aux recruteurs qu'elles constituent pour eux une première expérience dans ce domaine. Ils devront « vendre » ces nouvelles compétences acquises.

Le système retenu a ainsi plusieurs objectifs :

- Aider chaque personne à valoriser pour elle-même ces acquis ;
- Fournir aux élèves ayant fait preuve de talents particuliers dans le domaine de l'organisation une attestation officielle qui aura plus de poids que la simple annotation dans le C.V: « a participé à l'organisation de... » ;
- Attribuer un ECTS dans l'UE3 du semestre 5.

Pré-requis : Aucun

Contenu :

La liste des élèves méritant d'être distingués se fera à partir :

- d'un questionnaire renseigné par chaque candidat pour situer son activité, l'importance de celle-ci, son degré de réussite... (la présentation de l'ensemble des activités doit être synthétique et ne pas excéder une double page).
- d'un entretien avec les candidats retenus après examen des questionnaires (la commission d'audition est composée d'enseignants de l'école, d'élèves responsables de la vie associative, d'anciens élèves...).

Bibliographie : Aucune

Expected competencies:

Employers do not only seek to hire excellent scientists with technical competences but also engineers who can take on responsibilities:

- teamwork
- team management
- project budget management
- project schedule management

As many other schools, ISAE –ENSMA now offers some courses on that topic.

But ISAE-ENSMA also has a separate approach to the subject, based on the existence of many activities in the school that require those qualities and competences (the student government, preparation of the graduation ceremony, cultural, humanitarian groups and sports clubs, scientific projects etc.):

At recruitment interviews, students who have participated in these activities will have to show to employers that they have had a firsthand experience in that field through them and demonstrate those competences are transferable skills.

Several objectives have thus been defined:

- Helping each one to value this asset;
- Providing students who have demonstrated outstanding organizational skills with an official certificate that will have more weight than just a line in a résumé;
- Allocate 1 ECTS credit to Teaching Unit 3 of semester 5

Prerequisites: None

Content:

The list of students deserving recognition will be based on:

- A questionnaire filled out by each candidate to specify his/her activity, its importance, his/her level of success in it (comprising a 2-page statement maximum)
- An interview with the selected candidates after the completed surveys have been reviewed (the board is composed of ISAE-ENSMA faculty members, students in charge of the student government, alumni etc.)

Recommended reading: None

Stage ingénieur
Junior Engineer Internship

Code ECUE *Course code:* **STI**

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE6-1 (13 ECTS)

Période <i>Year of study</i>	: 2 ^{ème} année <i>2nd year</i>	Cours <i>Lectures</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: 4 ^{ème} semestre <i>4th semester</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport et 1 soutenance orale <i>1 report and 1 oral presentation</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français/Anglais <i>French/English</i>	Projet <i>Project</i>	:
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	:
		Travail personnel <i>Homework</i>	:

Compétences attendues : Occuper un poste d'ingénieur en entreprise. Préciser son projet professionnel grâce à cette découverte du métier d'ingénieur en entreprise et orienter ses choix de formation en troisième année.

Pré-requis : Aucun

Contenu : Ce stage, effectué en entreprise ou dans un organisme, en France ou à l'étranger, encadré par un ingénieur "Maître de Stage", permet à l'élève de découvrir le métier d'ingénieur et lui offre l'occasion d'une première initiation

Ce stage est effectué entre la 2^{ème} et la 3^{ème} année. Les étudiants possèdent alors la formation généraliste de base dans les spécialités de l'Ecole (aérodynamique ; énergétique ; thermique ; structures ; matériaux ; systèmes informatiques ; données informatiques) qui leur permet de remplir, au cours du stage, les fonctions d'ingénieur débutant dans une entreprise.

Il peut également être effectué dans un laboratoire, sur un sujet de recherche appliquée.

Le stage donne lieu à un rapport qui sera noté et une soutenance orale.

Durée du stage : 4 à 5 mois, de mi-avril à septembre

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: Work as a junior engineer. Clarify what field of engineering is the most attractive and therefore, choose the third-year specialisation.

Prerequisites: None

Content: This internship is carried out within a company or a research organisation, in France or abroad, and is supervised by an engineer. Through this placement, the student discovers first-hand what the work of an engineer entails.

This internship is carried out between the 2nd and the 3rd year of studies. Students may apply their basic scientific and engineering knowledges gained in the topics studied at ENSMA (aerodynamics; heat transfer; energetics; structures; materials; computer science systems; data analysis) to an engineering problem in industry, as a junior engineer.

Students can also work in a laboratory or a research topic.

The internship leads to the production of a report by the student, and an oral presentation.

Duration of the internship: 4 to 5 months, from mid-April to September.

Recommended reading: None

Projet de fin d'études (stage)
Graduation project (internship)

Code ECUE *Course code:* PFE

UE (Crédits ECTS de l'UE) : UE6-2 (17 ECTS)

Période <i>Year of study</i>	: 3 ^{ème} année <i>3rd year</i>	Cours <i>Lectures</i>	:
Semestre <i>Semester</i>	: 6 ^{ème} semestre <i>6th semester</i>	T.D. <i>Tutorials</i>	:
Evaluation <i>Assessment method(s)</i>	: 1 rapport et 1 soutenance orale <i>1 report and 1 oral presentation</i>	T.P. <i>Laboratory sessions</i>	:
Langue d'instruction <i>Language of instruction</i>	: Français/Anglais <i>French/English</i>	Projet <i>Project</i>	:
Type de cours <i>Type of course</i>	: Obligatoire <i>Compulsory</i>	Non encadré <i>Unsupervised</i>	:
Niveau <i>Level of course</i>	: Second cycle universitaire <i>Graduate</i>	Horaire global <i>Total hours</i>	:
		Travail personnel <i>Homework</i>	:

Compétences attendues : Participer activement à la réalisation d'un projet technique industriel (conception, modélisation, suivi et analyse d'essais...).

Pré-requis : Aucun

Contenu : Inscrit à la fin du cursus scolaire de l'élève ingénieur, ce dernier stage peut s'effectuer en entreprise ou dans un organisme de recherche, en France ou à l'étranger.

Chargé d'une étude pour ingénieur débutant, l'étudiant complète sa formation suivant l'orientation de son projet professionnel. Placé en fin de cursus, ce dernier stage est un véritable tremplin pour l'insertion professionnelle des jeunes diplômés.

Le stage de PFE peut aussi valoir en tant que Master Recherche, après validation préalable du sujet par un correspondant ENSMA co-encadrant. De tels stages combinés PFE+Master Recherche peuvent être l'occasion d'associer les compétences en recherche de l'ENSMA aux besoins des entreprises.

Durée du stage : 6 mois environ, d'avril à septembre

Bibliographie : Aucune

Expected competencies: See the project through, from the design stage to test analysis.

Prerequisites: None

Content: Placed at the end of the academic training, this last internship can be carried out within a company or a research institution, in France or abroad. Students are given charge of a study which a junior engineer should be able to conduct. This last internship is a real springboard for the integration of young graduates onto the labour market.

Should an ENSMA co-supervisor agree to it, the graduation project can also count as a Research Master Project. Such internships (graduation cum Research Master Project) can be the opportunity for companies to make the most of ENSMA's research skills.

Duration of the internship: 6 months approximately, from April to September.

Recommended reading: None

Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique
Téléport 2 - 1 avenue Clément Ader
BP 40109
86961 Futuroscope Chasseneuil Cedex
Tél : +33 (0)5 49 49 80 80

