

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

U F R  
S C I E N C E S  
E X A C T E S E T  
S C I E N C E S D E  
L A N A T U R E  
>>>

## MASTER Sciences et Technologies de l'Agriculture de l'Alimentation et de l'Environnement (STAAE) Parcours -type « Hydrogéologie Sol et Environnement »

-----

Responsable du Master : Vincent MARC

**Master 1<sup>ère</sup> année**

Responsable de la 1<sup>ère</sup> année : Marina GILLON

**Master 2<sup>ème</sup> année**

Responsable de la 2<sup>ème</sup> année : Vincent MARC

*Secrétariat des Masters S*

*Florence Léautier*

*Email : sec-agro@univ-avignon.fr*

*Tél. 04.90.84.22.02 ó Fax. 04.90.84.22.01*



<http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/>

Les ressources en eau souterraine peuvent être altérées par l'impact de l'activité humaine mais aussi par des déséquilibres naturels engendrés, par exemple, par des événements catastrophiques ou par la modification des conditions climatiques. La mise en valeur et la gestion raisonnée de ces ressources nécessitent de connaître la nature des forçages, naturels ou anthropiques et les processus impliqués dans les transferts et les réactions biogéochimiques au niveau du continuum de transfert atmosphère - sol - nappe.

L'acquisition de ces connaissances s'articule autour de quatre axes :

- 1 - Rôle de l'occupation du sol - analyse quantitative du territoire
- 2 - Impact de la zone non saturée sur la recharge et la qualité des eaux
- 3 - Fonctionnement des aquifères
- 4 - Modélisation.

UNIVERSITÉ D'AVIGNON  
ET DES PAYS DE VAUCLUSE

U F R S C I E N C E S  
P Ô L E A G R O S C I E N C E S  
C a m p u s A g r o p a r c  
301 rue Banuch de Spinoza  
BP 21239

84916 AVIGNON CEDEX 9

Tél. + 33 (0)4 90 84 22 00

Fax. + 33 (0)4 90 84 22 01

sciences@univ-avignon.fr

<http://agrosociences.univ-avignon.fr>

## *Master Hydrogéologie Sol et Environnement - Résumé de la formation*

Le Master HSE est organisé autour d'un tronc commun aux différentes spécialités du Master Agrosociétés et d'enseignements de spécialité en sciences de l'eau et sciences du sol.

**Le semestre 1 est à 80 % commun aux trois spécialités de la mention Agrosociétés.** L'étudiant acquiert les principales notions fondamentales relatives aux interactions entre l'eau, le minéral et le vivant. L'enseignement porte sur (i) la qualité des eaux et des sols (microbiologie, toxicologie, protection des écosystèmes aquatiques), (ii) les échanges et les transferts entre les différents compartiments environnementaux (physique de l'eau, étude théorique des transferts, agronomie plante et milieu) et (iii) les impacts anthropiques sur la ressource (Bassins versants : protection et ressource). La présentation et l'application d'outils méthodologiques usuels dans les sciences de l'environnement sont également abordés (recherche bibliographique, démarche expérimentale, statistiques appliquées, anglais scientifique).

**Le semestre 2 est différencié selon la spécialité. Pour la spécialité HSE, il explore les grands champs disciplinaires des sciences du sol, de l'eau et leurs liens avec l'environnement.** Un premier bloc d'enseignements concerne les systèmes hydrogéologiques. Il présente les méthodologies d'étude des eaux souterraines et de surface et les problématiques de gestion de la ressource (qualité/quantité). Il inclut une école de terrain d'une semaine qui vise à illustrer le lien entre la géologie et l'eau souterraine et à se familiariser avec les outils d'investigation des systèmes hydrogéologiques. Un second groupe d'enseignements se rapporte plus spécifiquement au traitement et analyse de données en hydro-géosciences (géostatistique/chronostatistique, méthodes numériques et modélisation, SIG) Le semestre 2 se conclut par un stage obligatoire de 8 à 12 semaines.

**Le semestre 3 est différencié selon la spécialité. Pour la spécialité HSE, l'enseignement permet de développer l'analyse des hydrosystèmes complexes et d'aborder des cas concrets sous forme de projets.** L'enseignement est articulé en 3 blocs de disciplines : les systèmes hydrogéologiques (connaissance, mesures et modélisation des hydrosystèmes complexes), la protection des eaux et sols (transfert des polluants dans le milieu poreux, connaissance des polluants, méthodes d'action en cas de pollution), eau et territoire (la connaissance et la représentation de l'hétérogénéité du territoire, la spatialisation des flux).

**Ce semestre comprend également deux écoles de terrain.** La première est organisée à Evian en collaboration avec Danone Environnement et le Water Institute by Evian. Entre visites, cours et travaux de terrain, ce stage offre l'opportunité aux étudiants de découvrir toute la démarche d'exploitation d'un aquifère, de l'étude des conditions de recharge sur l'impluvium à la production commerciale en passant par les mesures de protection et les procédures d'hygiène. La seconde école pratique est organisée autour d'un des thèmes portés par notre UMR "modalités de recharge des aquifères en milieu anthropisé". Pendant une semaine où alternent travaux de terrain, analyse de données et modélisation, nous proposons aux étudiants 1 atelier par jour pour étudier les différents processus impliqués dans le continuum surface/sol/nappe. Ces travaux sont préparés, suivis et organisés en coordination avec les collègues INRA de l'UMR EMMAH qui apportent compétences, données et matériel expérimental complémentaire.

**Un enseignement relatif au cadre réglementaire dans le domaine de l'environnement est aussi assuré au cours de ce semestre.** Il est dispensé sous forme de conférences par des intervenants extérieurs uniquement (bureaux d'études, associations professionnelles, services de l'Etat)

**Le semestre 4 est dédié au stage de fin d'étude.** Au préalable, il est proposé une UE de préparation aux métiers de l'ingénierie et de la recherche dans les sciences de l'eau (montage et déroulement d'un projet, appels d'offres, marchés publics, simulations d'entretiens d'embauche). Le stage peut se dérouler en milieu professionnel ou dans un laboratoire de recherche. Il est d'une durée de 20 à 32 semaines

Le Master HSE est indifférencié Pro et Recherche. La poursuite en doctorat ou la sortie dans le milieu professionnel se fait principalement sur la base du type de stage choisi.

## Objectifs professionnels

L'objectif de la spécialité HSE est de former des hydrogéologues pour comprendre et résoudre des problèmes de gestion qualitative et quantitative des eaux de surface, du sol et souterraines dans un contexte de changement global (modification du territoire, changement climatique). L'enseignement et les stages visent à former des praticiens capables d'appréhender la ressource en eau dans son cadre paysager (impact des modifications de territoire sur la ressource) et dans sa relation avec le sol (rôle de cette interface et fragilité vis-à-vis de la pollution).

Le Master 2 HSE est indifférencié Recherche et Professionnel. En assurant la continuité avec l'ancien DESS « Hydrogéologie et Environnement » proposé par l'Université d'Avignon depuis 1993 et l'ancien DEA conjoint Montpellier-Avignon, il prépare les étudiants au milieu professionnel public et privé. Par son adossement à une UMR, le Master 2 HSE a également vocation à préparer les étudiants vers la recherche en hydrosience et environnement.

## Conditions d'accès

**Recrutement au niveau M1** : Le recrutement se fait sur dossier (les modalités de dépôt de dossier sont communiquées par le secrétariat du Master sur simple demande. Le dossier de candidature peut être aussi téléchargé sur le site <http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/master/candidater-master-hse/>. Il est nécessaire d'être titulaire d'une licence ou d'un diplôme équivalent (CEE) prioritairement dans les domaines des sciences de la terre, géologie de l'environnement, de l'hydrogéologie.

**Le Recrutement au niveau M2** se fait de droit pour les étudiants titulaires du Master 1 HSE. Il est possible (sur dossier et dans la limite des places disponibles) pour les étudiants issus d'autres universités et détenant les pré-requis demandés (Master 1 ou diplôme équivalent à BAC + 4) dans les mêmes domaines (pré requis en hydrogéologie exigés). Le dossier de validation d'étude peut être téléchargé sur le site <http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/master/candidater-master-hse/>

Pour les étudiants étrangers, la formation est réservée aux boursiers avec un bon niveau de français (au moins TCF ou TEF niveau 5 ou Delf C1)

### **Formation continue**

Le Master HSE a vocation à accueillir des étudiants dans le cadre de la formation continue. Les candidats peuvent élaborer un dossier sur la base de l'ensemble de la formation de Master (1er et 2eme année). Le dossier est réalisé en accord et avec la coopération du responsable pédagogique

## Débouchés

### **Milieus professionnels privés ou publics**

Les diplômés peuvent exercer leur activité dans le cadre d'entreprises issues des secteurs de l'aménagement du territoire, la gestion des eaux, le traitement des sites et sols pollués, l'assainissement, l'environnement, les sciences de la terre. Leurs activités ont trait à l'expertise, les études et l'assistance techniques, l'exploitation, la maintenance, les essais. Les diplômés peuvent prétendre à devenir chef d'agence de travaux, cadre de chantier, ingénieur hydrogéologue, hydrologue, chef de projet, chargé(e) d'étude, ingénieur territorial.

### **Milieus de la recherche**

Les diplômés peuvent aussi exercer leur activité dans des structures de recherche ou des établissements d'enseignement supérieur pour assurer des tâches de formation, de recherche, d'expertise et d'assistance technique. Les types d'emplois concernés sont : chercheur et enseignant-chercheur en hydrogéologie et hydrologie, ingénieur hydrogéologue, ingénieur d'étude, ingénieur de recherche

Les résultats des enquêtes à 30 mois sur les étudiants sortis entre 2008 et 2014 indiquent que 88 % des diplômés ont obtenu un emploi (la proportion de cdi est de 62 %). 68 % de nos diplômés travaillent dans le privé (plutôt pme) et 88% ont un emploi de niveau ingénieur-cadre (statistiques complètes à consulter sur <http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/master/le-master/statistiques/>)

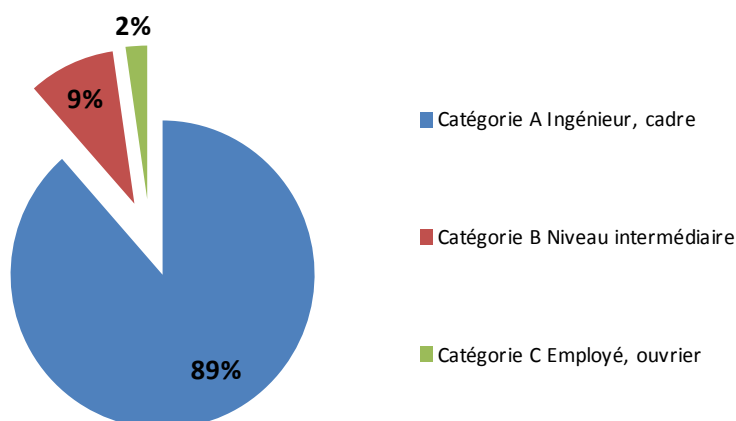


TABLEAU RECAPITULATIF DES ENSEIGNEMENTS

La formation est organisée depuis le Master 1 en 4 semestres de 30 ECTS chacun pour un total de 974 h d'enseignement.

<b>Master 1 « Hydrogéologie Sol et Environnement » - Semestre 1</b>					
Unités d'enseignement	Vol. H	CM	TD	TP	ECTS
Anglais	24		24		2
Préparation au projet professionnel	20	10	10		2
Méthodologie expérimentale analyse de données	20	10	10		3
Etude théorique des transferts et des échanges	30	15	15		3
Traçabilité et risques	20	10	10		3
Toxicologie	25	10	15		3
Microbiologie	30	10	10	10	3
Bassins versants : protection et ressource	40	20	20		4
Flux hydriques et territoires anthropisés	40	27		13	4
Agronomie Plante et milieu	30	18	12		3
<b>TOTAL</b>	<b>279</b>	<b>130</b>	<b>126</b>	<b>23</b>	<b>30</b>
<b>Master 1 « Hydrogéologie Sol et Environnement » - Semestre 2</b>					
Unités d'enseignement	Vol.H	CM	TD	TP	ECTS
<b>BLOC « Systèmes hydrogéologiques I »</b>	<b>167</b>	<b>85</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>15</b>
Hydrogéologie générale	54	30		24	6
Hydrogéochimie	48	30	12	6	4
Eaux de surface processus et risques	20	10		10	2
Ecole de terrain : de la géologie à l'hydrogéologie	45	15	30		3
<b>BLOC « Traitement et analyse des données en hydro-géosciences »</b>	<b>70</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>7</b>
Géostatistique/chronostatistique	20	10		10	2
Méthodes numériques et Modélisation	30	10		20	3
Système d'information géographique	20	10		10	2
Stage (8 à 20 semaines)	40	-	40		8
<b>TOTAL</b>	<b>277</b>	<b>115</b>	<b>82</b>	<b>80</b>	<b>30</b>
<b>Master 2 « Hydrogéologie Sol et Environnement » - Semestre 3</b>					
Unités d'enseignement communes	Vol H	CM	TD	TP	ECTS
<b>BLOC « Systèmes hydrogéologiques II»</b>	<b>160</b>	<b>78</b>	<b>52</b>	<b>30</b>	<b>16</b>
Hydrogéologie appliquée	60	30	30		6
Modélisation en sciences de l'eau	50	20		30	5
Hydrogéophysique	30	18	12		3
Téledétection et ressource en eau	20	10	10		2
<b>BLOC « Protection des eaux et des sols»</b>	<b>78</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>24</b>	<b>8</b>
Pollution et décontamination des eaux et des sols -	48	39		9	5
Transferts et réactivité dans les sols	30	15		15	3
<b>BLOC « Ecoles de terrain»</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
Ecole de terrain "Hydrogéologie" (Evian)	30		30		3
Ecole de terrain "Territoire et ressource en eau" (Avignon)	30		30		3
<b>TOTAL</b>	<b>298</b>	<b>132</b>	<b>112</b>	<b>54</b>	<b>30</b>
<b>Master 2 « Hydrogéologie Sol et Environnement » - Semestre 4</b>					
Professionalisation et cadre réglementaire en environnement	30	10	20		3
Stage (20 à 32 semaines)	90	-	90		27
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>10</b>	<b>110</b>	<b>-</b>	<b>30</b>

## Master 1 – semestre 1

### Anglais

TD : 24h00

Responsable UE: Jérôme Orlandini

Apprentissage de l'anglais scientifique par le biais de la lecture d'articles spécialisés, la visualisation de films et d'émissions à caractère scientifique et technique, l'audition de conférenciers anglophones et la réalisation et la présentation d'exposés en anglais. L'apprentissage et la maîtrise de la langue visera spécifiquement l'utilisation de l'anglais scientifique et technique international. L'objectif premier est de lever les inhibitions et blocages dans la présentation et la défense d'un travail. Pour cela les étudiants seront tout au long de ce cours être mis en situations pratiques.

### Préparation au projet professionnel

CM : 10h00 – TD : 10h00

Enseignant: Antoine Philippe (Université d'Avignon)

Constitution de curriculum vitae, lettre de motivation, techniques de recherche d'emploi et d'entretien d'embauche. Constitution d'un projet professionnel. La décision de groupe : les rôles dans un groupe, Les conditions de son efficacité, Ordre, compromis et consensus, l'après décision. La gestion de projet : les principes, le déroulement, performance de l'entreprise et climat social, le chef d'entreprise.

### Méthodologie expérimentale – analyse de données

CM : 10h00 - TD 10h00

Responsable UE: Mamirina Joelson (Université d'Avignon)

Introduction à la Méthodologie de la Recherche Expérimentale : Problème de pesées, Définitions : facteurs, réponses, matrices d'expériences, plans d'expérimentation, effets principaux, interactions. Criblage d'un grand nombre de facteurs : Matrices d'expériences d'Hadamard. Etude de l'influence de facteurs : Matrices d'expériences factorielles complètes et fractionnaires à 2 niveaux, Matrice des alias (effets confondus), relation de définition, générateurs, indépendants, effets de bloc, diagrammes d'interaction pour un modèle du second degré, Matrices composites

### Etude théorique des transferts et des échanges

CM : 15h00 – TD : 15h00

Responsable UE: Anne-Laure Cognard-Plançq (Université d'Avignon)

Généralités, Energie thermique : Calorique et cinétique, Chaleur et température, Quantité de chaleur, Equivalent mécanique de la chaleur, Capacité calorifique massique. Changements de phase : Fusion et congélation, Vaporisation, Ebullition, Exercices d'application. Transfert d'énergie thermique. Modes de transmission- Flux de chaleur : Conduction, Convection, Rayonnement, Flux de chaleur, Unités de quantité de chaleur, Unités courantes de flux de chaleur, Exercices d'application, Transmission par conduction : Loi de FOURIER, Résistance thermique, Conductibilités thermiques de diverses substances, Exercices d'application. Transferts de matière Définition, Phénomènes mis en jeu, Les différents régimes de transferts de matière

### Traçabilité et risques

Cours : 10h00 , TD : 10h00

Responsable UE : Vincent Marc (Ens : M. Denglos (Eubage), F. Quiot ( INERIS), R. Parienti (Grap'Sud))

#### Traçabilité : Sécurité des données personnelles et professionnelles

La question de la sécurité autour des données collectées par les entreprises ou les établissements publics à des fins stratégiques est déterminante : on parle de Data Governance. Le règlement européen sur la protection des données personnelles (RGPD) est entré en application le 25 mai 2018. De nouvelles obligations s'imposent ainsi aux opérateurs collectant des données personnelles et il revient aux entreprises d'évaluer les risques en amont et de faciliter la traçabilité du parcours des données pour s'assurer d'être en conformité avec la législation. L'enseignement proposé précisera en quoi consiste concrètement la notion de "data governance" dans l'entreprise, quels sont les rôles et les obligations de chacun et sera illustré par une étude de cas dans le cadre d'un TD.

#### Risques

Cette partie permettra de définir la notion de "risque" avec en particulier les risques pouvant porter atteinte à l'homme (sanitaire), à l'environnement ; de présenter les notions de risques majeurs et de risques pour l'environnement ; de donner des exemples de catastrophes naturelles, technologiques ; d'évoquer ce qui se fait aujourd'hui pour prévenir et évaluer ces risques (risque accidentel et risque chronique, notion de danger) ; enfin, de citer des cas concrets, travaux et sujets d'actualité.

Dans le cadre des TD, des études de cas seront traitées par parcours type pour illustrer la surveillance et la gestion du risque dans les industries agroalimentaires, agronomiques ou les études environnementales (eau, sol, air).

## **Toxicologie**

**Cours : 10h00 , TD : 15h00**

*Responsable UE: Luc Belzunces (INRA)*

Définitions (Ecotoxicologie et Toxicologie, toxique et intoxication, xénobiotique, écosystème, polluant et contaminant). Les sources de pollution. Classification des polluants. Propriétés physico-chimiques des polluants. Devenir des polluants dans l'environnement, devenir des polluants dans les organismes. Notion de résidu. Toxicité des polluants. Interactions entre les polluants. Effets létaux et sub létaux et leurs natures. Distribution populationnelle de la sensibilité des individus aux toxiques. Impacts des polluants sur l'agro-écosystème et l'hydrosystème (qualités ecotoxicologiques des milieux aquatiques et terrestres). Action des polluants dans les organismes et notion de Bio-indication. Apport des sciences omiques à la bio-indication. Effets populationnels des polluants. Espèces cibles et non cibles (pour les pesticides). Evaluation du risque. Evaluation de la qualité biologique des milieux (IBGN)

## **Microbiologie**

**CM : 10h 00 – TD : 10 h 00 TP : 10h00**

*Responsable UE : Thierry Clavel (Université d'Avignon) ?*

CM : Présentation par fonction des grandes familles de microorganismes, dynamique des communautés microbiennes fonctionnelles et leur réactivité, et description des méthodes d'études des microorganismes (approches génétiques, milieux spécifiques gélosés, ...)

TD aliment : Modélisation de la croissance des microorganismes, introduction à la microbiologie prévisionnelle. Etude de cas sur l'altération des aliments. Méthodes de détection et de typage. Les critères microbiologiques sur les aliments – Travail sur les textes du Codex Alimentarius et sur des exemples de textes réglementaires.

TP aliment : Détection et typage des microorganismes pathogènes dans les aliments

TD/TP eau et sol : caractérisation de la microflore du sol, , interactions entre flux d'éléments (C et N), disponibilité et dynamique microbienne, caractérisation des activités microbiennes et limites, altération microbienne des minéraux et importance en milieu non anthropisé (ex : forêts).

Les associations microbiennes impliquées dans les cycles biogéochimiques des principaux éléments dans le continuum eau-sol

## **Bassins versants : protection et ressource**

**CM 20h00 – TD 20h00**

*Responsable UE : Christine Argillier (IRSTEA)*

Les cours d'eau et les plans d'eau douce sont des entités complexes au sein desquelles coexistent divers organismes en interaction. Ce sont, par ailleurs, des milieux dont on attend de nombreux services et sur lesquels pèsent de gros risques liés à l'anthropisation. La sensibilité des organismes aquatiques aux altérations de l'environnement est telle qu'ils sont de plus en plus utilisés comme bioindicateurs de l'état des hydrosystèmes. Ce module présente (i) les principales pressions qui s'exercent sur les hydrosystèmes d'eau douce, (ii) les mesures réglementaires visant à réduire leur impact et (iii) les méthodes et outils développés pour établir les diagnostics ainsi que les bases de connaissances scientifiques sur lesquelles ils reposent

Ressource : cet enseignement a pour but de présenter les outils quantitatifs de la gestion de la ressource en hydrologie : modélisation de la ressource en eau (modèle empirique, Ajustement statistiques des débits d'étiage, Modélisation pluie-débit mensuelle, simulation). Ce cours suppose une connaissance de base en hydrologie générale (connaissance de la terminologie, des principales méthodes métrologiques, de la notion de bilan hydrologique).

## **Flux hydrique et territoires anthropisés**

**CM 27 TP 13**

*Responsable UE : André Chanzy (INRA)*

Notions d'itinéraires techniques : travail du sol, fertilisation, irrigation, artificialisation des milieux (serre, mulch plastique...). Etudes d'impacts environnementaux en s'appuyant sur la modélisation des cultures.

Protection des cultures, dynamique des pesticides.

Fonctionnement spatialisé des agrosystèmes.

## **Agronomie : interactions plante milieu**

**CM : 18h TD : 12h**

*Responsable UE : Yves Leconte (INRA)*

Bioclimat : Interaction plante climat (évapotranspiration, température, échanges de CO<sub>2</sub>)

Physique du sol : Interactions physiques sol racines (structure du sol et élaboration des systèmes racinaires, flux d'eau dans les sols et prélèvement par les plantes).

Sols et cycles biogéochimiques : principaux cycles (azote, carbone, phosphore, potassium) à biodisponibilité pour les plantes. Synthèse : concept en modélisation des cultures

## Master 1 – semestre 2

### Ecole de terrain : de la géologie à l'hydrogéologie

#### CM 15 TD 30

Responsable UE: Konstantinos Chalikakis (Université d'Avignon)

Apprendre à mettre en œuvre la reconnaissance géologique d'une étude de géologie appliquée, en particulier hydrogéologique. Mise en pratique dans le cadre d'une semaine de terrain organisée dans le Gard.

### Hydrogéologie générale

#### CM 30 TP 24

Responsable UE : Olivier Banton (Université d'Avignon)

Notions de base de l'hydrogéologie. Roches constitutives des aquifères. Types d'aquifères et de nappes. Loi de Darcy. Paramètres hydrodynamiques. Hydraulique souterraine. Essais de pompage. Bilan hydrogéologique. Rôle de l'hydrogéologue.

Interprétation des essais de pompage et investigations de terrain. L'objectif des TD-TP sera de familiariser les étudiants avec les concepts pratiques de la mesure et de la caractérisation hydrogéologiques et des limites qui s'y appliquent. Une attention particulière sera portée au traçage artificiel et aux mécanismes de transport de solutés dans le milieu poreux.

### Hydrogéochimie

#### CM 30 TD 12 TP 6

Responsable UE: Marina Gillon (Université d'Avignon)

Cet enseignement a pour objectif de présenter les notions géochimiques et isotopiques utilisées pour déterminer et comprendre l'origine des eaux dans les aquifères, leurs interactions avec la roche et les gaz, leurs temps de séjour, les mélanges.... : présentation des différents traceurs chimiques et isotopiques, présentation des différentes réactions chimiques impliquées et les notions de chimie associées, interprétation des évolutions géochimiques et isotopiques dans les eaux souterraines, notion de fractionnement isotopique, présentation des fonctions de transfert, datation des eaux souterraines.

### Eaux de surface : processus et risques

#### CM 10 TP 10

Responsable UE: Vincent Marc (Université d'Avignon)

Cet enseignement a pour but de présenter les outils quantitatifs de la gestion du risque en hydrologie : prédétermination des crues (traitement statistiques des pluies, calcul des débits décennaux: méthodes empiriques et régionales, calcul des débits extrêmes (gradex), notion de pluie de crue de projet (SCS)) et analyse des concepts actuels de la formation des écoulements sur bassin versant naturel (du processus au concept, implication sur les méthodes de gestion hydrologique). Ce cours suppose une connaissance de base en hydrologie générale (connaissance de la terminologie, des principales méthodes météorologiques, de la notion de bilan hydrologique).

### Géostatistique/chronostatistique

#### CM 10 TP 10

Responsable UE: Vincent Valles (Université d'Avignon)

Chronostatistiques, géostatistiques, bases de la théorie statistique univariée et multivariée ; grands types de lois de distribution ; tests et outils statistiques ; notions d'échantillonnage. Les TD traiteront principalement des calculs statistiques et de l'apprentissage de quelques logiciels spécialisés. Ils viseront à amener les étudiants vers une utilisation maîtrisée et critique des méthodes et leur faire prendre conscience de leurs limites.

### Méthodes numériques et modélisations

#### CM 10h00 – TP 20h00

Responsable UE: Anne Laure Cognard-Plançq (Université d'Avignon)

Bases du calcul analytique et numérique ; application à la modélisation des processus ; conditions aux limites et critères de modélisation ; exemple de modélisation dans les champs disciplinaires de la spécialité. Méthodes des différences finies, des éléments finis et de la marche au hasard. Principes d'obtention des solutions analytiques et numériques. Application à l'hydrodynamique et aux transferts de masse en milieux poreux.

### Système d'information géographique

#### CM 10h00 – TP 10h00

Responsable UE : Naomi Mazzilli (Université d'Avignon)

Enseignement appliqué dédié à l'analyse spatiale et à la cartographie numérique : 1) bases du positionnement géographique: systèmes géodésiques et systèmes de coordonnées, 2) intégration de données géographiques (formats de données vecteur et raster, création de couches vecteur, géoréférencement et écriture des métadonnées), 3) traitement de l'information cartographique (requêtes spatiales et attributaires, géométrie et édition topologique des données vecteur, opérations sur les couches raster).

## Master 2 – semestre 3

### Hydrogéologie appliquée

**CM : 30h00 TD :30h00**

*Responsable UE: Olivier Banton (Université d'Avignon)*

Ce cours s'appuie sur les enseignements d'hydrogéologie dispensés au semestre 1. Il vise à montrer comment se déroule une analyse hydrogéologique dans les systèmes complexes et discontinus : aquifères côtiers et insulaires, aquifères volcaniques, aquifères profonds, réservoirs fracturés dans les environnements carbonatés et environnement de socle (genèse, bilan d'eau et fonctionnement, prospection)

Complément méthodologique sur le traçage isotopique et la datation : modèles de transferts isotopiques (utilisation des chroniques d'isotopes stables pour déterminer le temps moyen de résidence des eaux dans des nappes) et datation à partir des isotopes radioactifs pour différentes gammes d'âge en complément du cours de M1.

### Modélisation en Sciences de l'eau

**CM : 20h00 TP:30h00**

*Responsable UE: Vincent Marc*

Généralité sur les modèles (Définition d'un modèle, Construction/conception d'un modèle, Qualités attendues pour un modèle (critères de qualité)), les modèles dans le domaine de la gestion des ressources en eau (hydrologie et hydrogéologie) (Typologie des modèles, Les types de modèles rencontrés selon les domaines /champs d'application, vocabulaire lié à la modélisation, Couplage entre la modélisation hydrologique et la modélisation hydrogéologique)

Modélisation hydrogéologique : connaissance et maîtrise des outils de modélisation pour lire et critiquer un résultat de modélisation, expliquer l'importance des conditions aux limites, décrire les modalités de l'utilisation des mesures, expliquer le principe du calage.

Modélisation hydrologique : Spatialisation des pluies, Hydrogramme unitaire, Ajustements statistiques, méthode du Gradex.

TP : développement d'un modèle de nappe sous tableur

Projet : Etude d'un cas concret sous ModelMuse

Projet : Reconstruction d'une crue et détermination de son temps de retour

Les projets sont préparés par un traitement des données sous SIG : Approfondissement des notions vues en M1 et travail sur projet : 1) intégration de données géographiques (utilisation du géocatalogue et des serveurs OGC, bases de données postGis), 2) traitements avancés sur les données raster (surfaces dérivées des MNT, interpolation de données ponctuelles, extraction des réseaux hydrographiques et bassins versants, outil d'analyse GRASS)

### Hydrogéophysique

**CM : 18h00 TD :12h00**

*Responsable UE: Konstantinos Chalikakis (Université d'Avignon)*

Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Méthodes électriques, électromagnétiques, sismiques, gravimétrie et la résonance magnétique des protons. Choix des méthodes selon la problématique posée, limites et contraintes d'application, avantages et inconvénients de chacune des méthodes, coût d'opération et rentabilité. Les TD d'application seront réalisés sur le terrain, dans différents cas de figures hydrogéophysiques, avec application des méthodes adéquates (notamment électriques et électromagnétiques) dont les résultats seront par la suite traités et interprétés en terme hydrogéologique.

### Téledétection et ressource en eau

**CM : 10h00 TD :10h00**

*Responsable UE: Marc Leblanc (Université d'Avignon)*

Les "objets" hydrogéologiques sont étudiés dans le cadre de leur environnement global : zone non saturée, contexte territorial. Bases de l'analyse quantitative des territoires (structure et flux) : processus en jeu, facteurs concernés, méthodologies de mesures (outils, résolution), méthodes de calcul (modèles) ainsi que les limites et la progression des connaissances (questions où la technologie est en constant renouvellement).

Téledétection : Bases physiques de la téledétection et quantification des variables bio-géophysiques observables. Procédures de correction géométriques et atmosphériques des images de téledétection. Les TD permettent d'aborder le problème des traitements des images de téledétection (corrections géométriques, correction radiométrique, classification supervisée). Exemples concrets, notamment tirés de la recherche actuelle à EMMAH. Ce contenu concerne aussi bien la surface (partie superficielle sol-plante-atmosphère : téledétection) que la subsurface (sol-sous sol : géophysique de surface)



## **Pollution et décontamination des eaux et des sols**

**CM : 39h00 TP : 9 h00**

*Responsable UE: Vincent Valles (Université d'Avignon)*

Connaissance de la chimie des polluants (Définitions typologie des pollutions, types de polluants), et des techniques de dépollution. Visite d'un site massivement pollué en bordure de Durance (présentation de la barrière hydraulique) et mesures/prélèvements/observations hors site. Les étudiants bénéficient d'une large base de données environnementales (données qualitatives et quantitatives sur les eaux souterraines, eaux de surface et données ecotoxicologiques).

Intervention d'un représentant de l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) sur les industries (ICPE) et les sites pollués (réglementation et méthodologie, travaux en cours au niveau du Ministère, impact sur sols et eaux et gestion). Une attention particulière est portée sur les liens entre les méthodologies et réglementations en cours, et les enseignements théoriques dispensés dans le cadre d'autres cours d'hydrogéologie, d'hydrogéochimie, etc.)

## **Transferts et réactivité dans les sols**

**CM : 15h00 TP : 15h00**

*Responsable UE: Pierre Renault (INRA, Avignon)*

Hydrodynamique dans les sols : Ce cours s'appuie sur les enseignements dispensés au semestre 2 dans la partie agro hydroscience. Il s'agit de présenter et expliciter l'équation de Richards, montrer les conditions de sa résolution, présenter des approches simplifiées et introduire la modélisation 1D (TP sur ordinateur).

Transferts et réactivité : Couplages entre transferts, biotransformations et réactivité géochimique abiotique : échelles d'espace et de temps. Monographies sur trois problématiques : devenir du carbone et de l'azote, mobilisations / immobilisations d'éléments métalliques, dégradation des substances organiques xénobiotiques. Modélisation mathématique. Exemples de problématiques environnementales : épandages d'effluents d'agro-industries, biodécontamination de sites pollués en hydrocarbures. Les TP traiteront entre autres de : infiltration et drainage en lysimètre ou colonne de sol, bilans d'azote et gestion des résidus organiques, modèles de gestion de l'irrigation et de la fertilisation, simulation du devenir d'un xénobiotique organique, anaérobiose dans les sols et mobilisation de métaux, méthodes de mesures du pH du sol : pH (eau), pH (0.01 CaCl<sub>2</sub>), pH (KCl).

## **Ecole de terrain "Hydrogéologie" (Evian)**

**TD : 30h00**

*Responsable UE: Vincent Marc (Université d'Avignon)*

Ecole de terrain à Evian dédiée à la gestion et la protection d'une ressource aquifère : projet de terrain, conférences, visites. Processus hydrogéologiques et vulnérabilité d'un système aquifère exploité pour la commercialisation d'une eau minérale.

## **Ecole de terrain "Territoire et ressources"**

**TD : 30h00**

*Responsable UE : Vincent Marc (Université d'Avignon)*

Ecole de terrain organisée sur le site de l'INRA d'Avignon. 5 journées thématiques sont dédiées à l'étude de la recharge des aquifères peu profonds dans les secteurs anthropisés (mécanismes d'infiltration, effet de l'occupation du sol sur le stockage de l'eau, estimation spatialisée de l'évapotranspiration, dynamique de la nappe). Ces travaux sont préparés, suivis et organisés en coordination avec les collègues INRA de l'UMR EMMAH qui apporteront compétences, données et matériel expérimental complémentaire.

# **Master 2 – semestre 4**

## **Professionalisation et cadre réglementaire en environnement CM : 10h00 TD: 20h00**

*Responsable UE: Antoine Philippe (Université d'Avignon)*

1) Elaboration portefeuille de connaissances et compétences communes par spécialité, Exercice offre de service. Chaque étudiant présente son offre ¼ h devant les autres, Simulations individuelles entretien de recrutement (1/2 h / étudiant)

2) Montage de projet/étude

Lettre d'intention, réponses aux appels d'offres, normes des AO, démarche commerciale, avant projet, CCTP, ...

3) Déroulement de l'étude

Organisation du travail, logistique, gestion du personnel et répartition des tâches, planification, coût.

4) Législation et cadre réglementaire dans la gestion et la protection des ressources en eau