

BQF Interdisciplinaire 2012

DASE

Data Assimilation for Scientists and Engineers
Partage de Ressources Pédagogiques Numériques

Auteur du document

Olivier Thual,
Institut National Polytechnique de Toulouse



Partenaires du projet

Olivier Thual – Professeur
INPT/ENSEEIH
thual@imft.fr

Serge Gratton – Professeur
INPT/ENSEEIH
serge.gratton@enseeiht.fr

Olivier Pannekoucke – Chercheur
Météo-France et INPT/ENM
olivier.pannekoucke@meteo.fr

Jérôme Monnier - Professeur
INSA Toulouse
jerome.monnier@insa-toulouse.fr

Site web du projet DASE :

<http://pedagotech.inp-toulouse.fr/130107>

RESUME

Quatre enseignants chercheurs de l'Université de Toulouse ont mis en commun leurs supports de cours sur l'assimilation de données pour les enseigner dans plusieurs établissements : ENSEEIHT, ENM, INSA, ISAE... Ces documents pédagogiques ont été mis sous un format numérique commun à l'aide de la chaîne éditoriale SCENARI Opale. Cette expérience est une contribution à la mutualisation de Ressources Pédagogiques Numériques à l'échelle de l'Université de Toulouse.

MOTS-CLES : Ressources Pédagogiques Numériques, Assimilation de données, SCENARI Opale.

1 INTRODUCTION

1.1 Rappel du contexte

L'assimilation de données est un domaine dont le spectre d'application, déjà vaste, ne cesse de s'étendre. Pour la météorologie, il s'agit d'utiliser au mieux les observations pour analyser le temps présent et effectuer une prévision à l'aide d'un modèle tout en documentant la qualité de ces prévisions (discrétisation de la loi de probabilité de la prévision). Pour la modélisation d'un cœur de centrale nucléaire, il s'agit d'ajuster au mieux les paramètres d'un modèle de neutronique pour mieux décrire l'usure du combustible. Qu'il s'agisse de déterminer des conditions initiales ou de calibrer des paramètres, l'assimilation de données devient un outils essentiel de la modélisation de nombreux systèmes : aérodynamique, hydrologie, chimie, réservoir pétroliers, océanographie...

Il devient donc indispensable de sensibiliser les étudiants à ce domaine, au carrefour entre les mathématiques appliquées, les statistiques et la modélisation des systèmes physiques relevant de nombreuses spécialités. Le projet « DASE » (Data Assimilation for Scientists and Engineers) réunit des enseignants issus des mathématiques appliquées et de plusieurs domaines d'application, dans le but de construire un ensemble de documents pédagogiques introductifs à l'assimilation de données. Plutôt que de construire un cours de volume horaire figé avec photocopié linéaire et séquençement arrêté de cours magistraux, ce projet privilégie la fabrication de briques pédagogiques de bases plus ou moins indépendantes, afin de permettre des constructions de modules de différentes tailles. Tout en élaborant un socle de connaissance commun sur les principes de base de l'assimilation de données, le projet développe plusieurs exemples d'applications sous forme de travaux dirigés ou de travaux pratiques expérimentaux ou sur machine.

Les enseignants participant à ce projet ont pris en charge l'élaboration d'une ou plusieurs briques élémentaires de ce module portable. Les notations et le formalisme de ces supports sont proches et ces briques peuvent être enseignées de manière indépendante. A chaque brique sont associés des travaux dirigés et des travaux pratiques dont le champ d'application est adapté à des domaines différents. La liste de ces briques pédagogiques est développée ci-dessous.

Olivier THUAL	ENSEEIH	Enseignant en mécanique des fluides	Introduction to Data Assimilation for Scientists and Engineers
Serge GRATTON	ENSEEIH	Enseignant en mathématiques appliquées	Numerical methods for data assimilation
Olivier PANNEKOUCKE	ENM	Enseignant en météorologie	Introduction to data assimilation
Jérôme MONNIER	INSA	Enseignant en mathématiques appliquées	Variational data assimilation, From optimal control to large scale data assimilation

Tableau 1 : Ressources Pédagogiques Numériques développées dans le cadre du projet.

1.2 Objectifs du projet

Le projet avait pour objectif la construction de quatre briques pédagogiques composées de cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques, portant sur l'introduction aux méthodes d'assimilation de données. Ce module forme un ensemble cohérent de matériaux pédagogiques facilement utilisables pour des déclinaisons en modules d'enseignement de volumes horaires allant de 10h à 50h en présentiel (entre 1 et 3 ECTS). En choisissant parmi les exemples d'applications qui seront développés, ou en s'en inspirant pour en construire de nouveaux, ces modules peuvent être adaptés à des nombreuses thématiques dont le seul point commun est le recours à la modélisation numérique. Ce macro-module a été testé auprès de plusieurs populations d'étudiants par les professeurs participant au projet, certains apprenants ayant été sollicités pour contribuer activement au développement des travaux pratiques sur machine ou en laboratoire.

2 DEROULEMENT DU PROJET

2.1 Mise en commun des ressources pédagogiques numériques

Les quatre enseignants participant au projet sont partis d'une version numérique de leurs supports de cours rédigés en LaTeX. Bien qu'il s'agisse d'un format commun, le choix d'un portage de ces quatre cours sous le format Opale de la chaîne éditoriale SCENARI a été effectué, suivant ainsi les recommandations de la plupart des spécialistes des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement) de l'Université de Toulouse. Ce format est particulièrement propice à l'échange de documents entre enseignants, ce qui constitue un des objectifs principaux du projet.

Deux des enseignants (O. Thual et J. Monnier) ont décidé d'effectuer eux-mêmes le portage vers Opale de leurs cours, les deux autres (S. Gratton et O. Pannekoucke) ayant choisi de bénéficier du concours de deux stagiaires (co-encadrés par O. Thual). C'est ainsi que E. Thiam, stagiaire de première année du Master « Ingénierie Mathématiques » (Université Paul Sabatier) a réalisé le portage du cours de S. Gratton ainsi que la traduction d'un TP numérique Matlab en Scilab (logiciel libre). De même, H. Hermez, stagiaire du Master International « Fluid Engineering for Industrial Processes » (INPT et INSA), a réalisé le portage du cours d'O. Pannekoucke. Ces stagiaires ont bénéficié d'une formation de quatre jours sur l'assimilation de données dispensée dans le cadre des formations avancées du CERFACS ainsi que du tutoriel d'auto-apprentissage du logiciel OPALE.

La réalisation de ces quatre ressources en format Opale a été facilitée par l'utilisation du serveur SCENARI de l'INP Toulouse qui permet un véritable travail collaboratif à travers le partage de fichiers communs. Toutes les sources des cours sont stockées sur ce serveur, ce qui permet une réutilisation rapide et une adaptation à plusieurs contextes.

2.2 Construction d'une installation pédagogique portable

Comme prévu dans le cahier des charges du projet, une installation expérimentale portable a été réalisée afin d'illustrer concrètement la notion de mesures et d'erreurs de mesures essentielle pour l'assimilation de données. C'est ainsi que la construction d'un petit canal à surface libre et d'une petite cuve à milieu poreux (figure 1) a été confiée à l'association « Planète Sciences » qui a encadré (en collaboration avec O. Thual et J.-F. Parmentier) J. Swietlicki, stagiaire du DUT « Génie Mécanique et Productique » (Université Paul Sabatier).

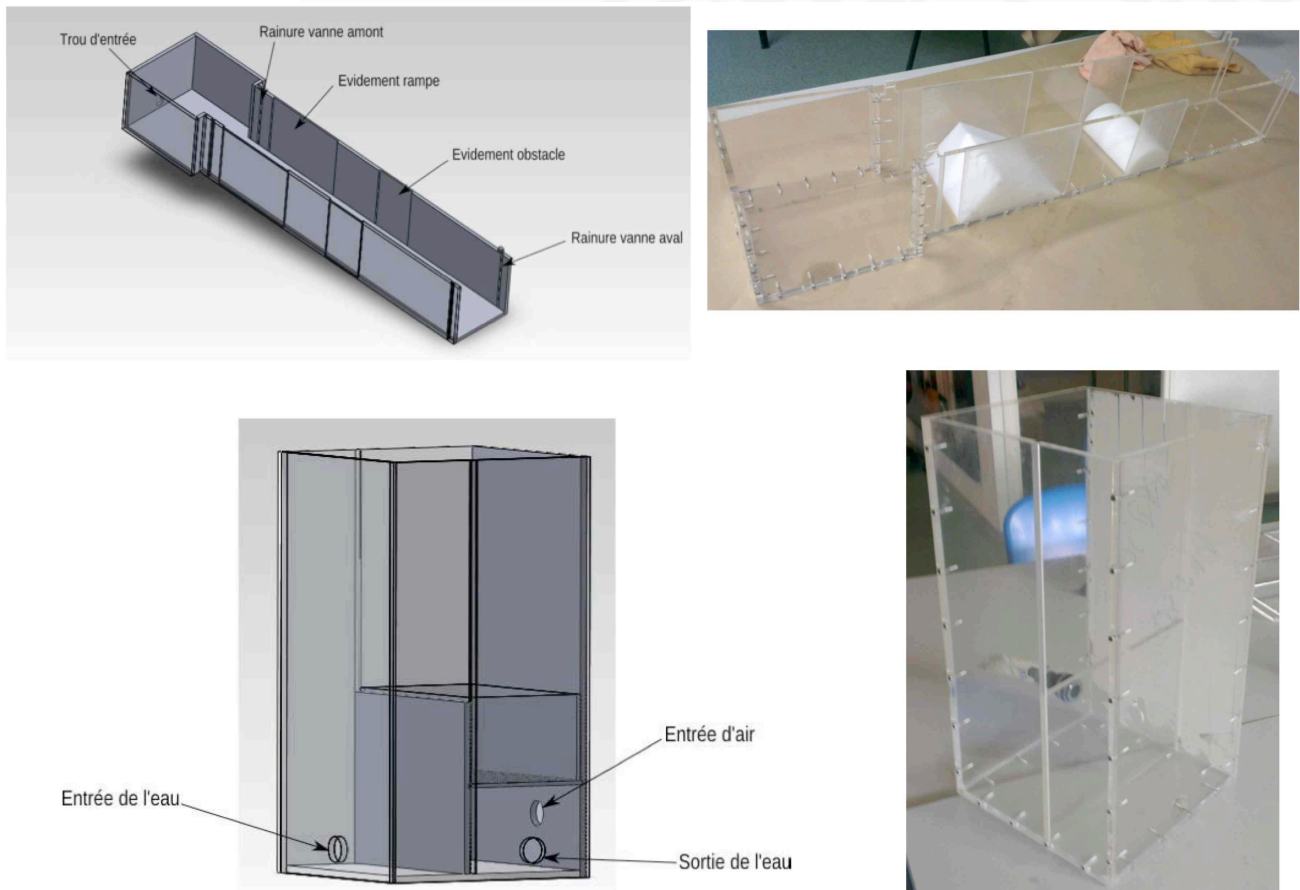


Figure 1 : canaux hydrauliques pour le TP transportable illustrant la notion d'erreur de mesure

2.3 Utilisation des ressources pédagogiques dans des formations

Les ressources pédagogiques relatives à ce projet pédagogique sur l'assimilation de données ont été enseignées dans plusieurs formations de l'Université de Toulouse. La liste de ces enseignements est contenue dans le tableau 2.

Dates	Enseignant	Établissement	Formation	Cours	Volume
Jan. 2013	O. THUAL	ISAE	Master "Systèmes complexes et simulation"	Introduction to Data Assimilation for Scientists and Engineers	CM 3h, TPm 3h
Fév. 2013	O. PANNEKOUCKE	ENM - UPS	Master CIRMA	Introduction à l'assimilation de données dans le cours "Prévision stochastique"	CM 5h
Fév. 2013	O. THUAL	ENSEEIH	2ème année de la formation d'ingénieur "Hydraulique - Mécanique des Fluides"	Assimilation de données dans le cours "Météorologie"	CM 3h, TPm 3h
Mars 2013	S. GRATTON	ENSEEIH	2ème année de la formation d'ingénieur "Informatique & Mathématiques Appliquées"	Optimisation	CM 10h, TD 5h, TPm 5h
Mai 2012	Olivier THUAL	ISAE	MAMMI'2012, Séminaire professeurs CPGE	Assimilation de données et prévision météo	CM 2h, TPm 2h
Mai 2013	J. MONNIER	INSA	5ème année de la formation d'ingénieur "Génie Mathématique et Modélisation"	Automatique et Assimilation de données	CM 10h, TD 10h
Juin 2013	O. THUAL	CERFACS	Formation avancée "Assimilation de données"	Numerical methods for data assimilation	CM 2h, TPm 2h
Juin 2013	S. GRATTON	CERFACS	Formation avancée "Assimilation de données"	Introduction to Data Assimilation for Scientists and Engineers	CM 6h, TPm 2h
Mai 2012	O. THUAL	ENSEEIH	Mécanique des Fluides, Séminaire professeurs CPGE	La prévision du temps et l'assimilation de données en mécanique des fluides	CM 1h
Sept. 2013	S. GRATTON	ENSEEIH	3ème année de la formation d'ingénieur "Hydraulique - Mécanique des Fluides"	Optimisation	CM 4h
Sept. 2013	O. THUAL	ENSEEIH	3ème année de la formation d'ingénieur "Hydraulique - Mécanique des Fluides"	Optimisation	CM 6h, TPm 2h

Tableau 2 : Enseignements réalisés dans des formations de l'Université de Toulouse à l'aide des ressources pédagogiques numériques développées dans le cadre du projet.

3 RESULTATS

Le projet DASE a débouché sur la réalisation de quatre Ressources Pédagogiques Numériques (RPN) correspondant à un volume d'enseignement présentielle allant de 10 à 50 heures. Ces ressources sont publiées en licence libre (CC BY-SA) aux « Éditions Pédagogiques Ouvertes de l'INP Toulouse » et peuvent, par conséquent, être reprises par les « pédagogthèques » d'autres établissements. Le contenu de ces ressources est détaillé ci-dessous en indiquant leur utilisation pour des Cours Magistraux (CM), des Travaux Dirigés (TD) ou des Travaux Pratiques (TP) en laboratoire ou en salle machine.

3.1 Présentation élémentaire de l'assimilation de données

[1] O. Thual, Introduction to Data Assimilation for Scientists and Engineers, [Open Learn. Res. Ed. INPT, 0202 \(2013\) 6h](#)

CM : Exemple d'applications de l'assimilations de données : océanographie, hydrologie, neutronique, etc. Notion de variables aléatoires et estimation d'une grandeur à partir de mesures. Formalisme gaussien de la fonction coût. Méthodes classiques de l'assimilation de données : BLUE, 3D-Var, 4D-Var.

TD : Calcul de gradient de la fonction coût pour la méthode BLUE. Exemple de résolution analytiques d'exemples simples : ressaut hydrauliques, modèle de réservoir.

TP laboratoire et machine : Expérience hydraulique dans une canal portable. Mise en œuvre d'expériences simples avec octave, scilab ou matlab.

3.2 Algorithmes pour l'assimilation de données

[2] S. Gratton and Ph. Toint, Numerical methods for data assimilation, [submitted to Open Learn. Res. Ed. INPT, 0826 \(2013\) 6h](#)

CM : Algorithmes pour l'assimilation de données variationnelle. Optimisation globale, optimisation sans dérivée, formulations duales et préconditionnement. Filtre de Kaman d'ensemble, diagnostics d'optimalité, modélisation des erreurs.

TD : Formulation duale d'une méthode variationnelle sur un exemple simple.

TP machine : utilisation d'algorithme d'optimisation sur des cas numériques de petites tailles.

3.3 Assimilation d'ensemble et prévision d'ensemble

[3] O. Pannekoucke, Introduction to data assimilation, [submitted to Open Learn. Res. Ed. INPT, 0831 \(2013\) 6h](#)

CM : Rappel sur les systèmes dynamiques et justification de l'approche probabiliste. Outils probabilistes : formule de Bayes, chaîne de Markov, éléments de calcul stochastique. Filtrage non-linéaire, filtrage particulaire, filtre de Kalman, filtre de Kaman d'ensemble et ses variantes, approche hybride type 3D-Ens/4D-Ens. Paramétrisation des erreurs modèle. Outil et méthodes de la prévision d'ensemble.

TD : Dérivation de la transformée d'ensemble à partir d'un 3D-Ens.

TP machine : Implémentation d'un filtre particulaire. Implémentation d'un 4D-Ens. (codage sous scilab ou octave)

3.4 Méthodes variationnelles pour l'assimilation de données

[4] J. Monnier, Variational data assimilation, From optimal control to large scale data assimilation, *in preparation for Open Learn. Res. Ed. INPT, 0908 (2013) 6h*

CM : Contrôle optimal d'un système d'EDP, sources d'erreurs modèles. Méthode adjointe et différenciation automatiques.

TD : Calcul de gradient de la fonction coût pour la méthode 4D-Var.

TP machine : Application du 4D-Var à des exemples simples. Utilisation du code de calcul DassFlow.

4 IMPACTS ET PERSPECTIVES

Ce projet a permis d'expérimenter une forme de travail collaboratif entre plusieurs enseignants intervenant sur une même thématique dans plusieurs établissements de l'Université de Toulouse. Le développement de Ressources Pédagogiques Numériques sous le format SCENARI Opale permet de faciliter l'échange de briques de bases pour bâtir de nouveaux cours. Ce format, combiné à l'utilisation d'un serveur SCENARI, permet de confier la partie technique du développement de tout ou partie de ces ressources à des stagiaires. Les nouvelles fonctionnalités de la chaîne éditoriale SCENARI permettront, pour de futurs projets de même nature, de renforcer l'aspect collaboratif.

La publication des Ressources Pédagogiques Numériques sur la « Pédago'Tech de l'INP Toulouse » est un premier pas vers la construction d'une « pédagogthèque » à l'échelle de l'Université de Toulouse. Ces quatre exemples de ressources développée sous le format SCENARI Opale, avec la charte graphique de l'Université de Toulouse, pourront être utilisés pour éclairer le choix d'un format recommandé à l'échelle toulousaine.

5 REMERCIEMENTS

Les participants à ce projet remercient la « Mission Innovation Pédagogique » de l'INP Toulouse pour le soutien apporté dans le développement des Ressources Pédagogiques Numériques à travers des ateliers de formation à SCENARI Opale ainsi que pour la mise à disposition d'un serveur SCENARI.

Ce travail a bénéficié du concours des stagiaires Elhadi Thiam, Jordan Swietlicki et Hamza Hermez. Ces remerciements concernent également Jean-François Parmentier, Sébastien Giraud et Eric Coufin pour la contribution de Planète Sciences à ce projet.

6 REFERENCES / BIBLIOGRAPHIE

- [1] O. Thual, Introduction to Data Assimilation for Scientists and Engineers, [*Open Learn. Res. Ed. INPT*, **0202** \(2013\) 6h](#)
- [2] S. Gratton and Ph. Toint, Numerical methods for data assimilation, [*submitted to Open Learn. Res. Ed. INPT*, **0826** \(2013\) 6h](#)
- [3] O. Pannekoucke, Introduction to data assimilation, [*submitted to Open Learn. Res. Ed. INPT*, **0831** \(2013\) 6h](#)
- [4] J. Monnier, Variational data assimilation, From optimal control to large scale data assimilation, [*in preparation for Open Learn. Res. Ed. INPT*, **0908** \(2013\) 6h](#)
- [5] Site web du projet DASE: <http://pedagotech.inp-toulouse.fr/130107>
- [6] Pédago'Tech de l'INP Toulouse : <http://portailtice.inp-toulouse.fr>
- [7] O. Thual, Portez facilement vos ressources sous Opale : tutoriel rapide, [*Pédagothèque Dynamique de l'INP Toulouse* \(2013\)](#).

7 ANNEXES

7.1 Bilan financier (obligatoire)

Voir le rapport officiel transmis à l'Université de Toulouse.