

Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale

EA 4126

Campus LyonTech La Doua
Bâtiment J.C.A. Coulomb
34, avenue des Arts
69621 Villeurbanne cedex

Tél : + 33 (0)4 72 43 60 93
Fax : + 33 (0)4 72 43 85 23
Email : lgcie@insa-lyon.fr

To whom it may concern
COLCIENCIAS programmes
Bogota, Colombia

Villeurbanne, France, 6 March 2013

Certification of invitation, programme length and language requirements

I undersigned, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, professor at LGCIE (Laboratory of Civil and Environmental Engineering), INSA Lyon, France, have the pleasure to invite Santiago Sandoval Arenas, with ID 1020723493, from Bogota, Colombia, to work under my supervision for a PhD thesis in my laboratory, on the topic "On-line continuous monitoring and data validation in urban drainage and sewer systems", which we discussed and agreed together as being of great mutual interest. The PhD thesis will last 3 years, tentatively from May 2013 to May 2016.

Hereby I inform COLCIENCIAS that his PhD thesis will be written in English. As required by the Doctoral School MEGA (Mechanics, Energetics, Civil Engineering and Acoustics), the thesis will include an extended summary in French: I thus will ask Santiago Sandoval to attend a French course at INSA during his studies. Learning French will also be very useful for his daily life in France.

Sincerely yours,

Pr. Jean-Luc Bertrand-Krajewski

Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI
Directeur adjoint
LGCIE-INSA LYON



Traducción Oficial de un documento escrito en lengua francesa, realizada por GERMÁN FONSECA CHAPARRO, traductor juramentado francés/español según la resolución N° 2110 del 14 de diciembre de 2003 del Ministerio de Justicia de Colombia.

=====

LOGO: INSA | INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS APLICADAS LYON

SERVICIO DE FRANCÉS

Bâtiment Les Humanités

1, rue des Humanités

69621 Villeurbanne cedex

Tel: +33 (0)4 72 43 83 66

Fax: +33 (0)4 72 43 88 95

servfran@insa-lyon.fr

http://fle.insa-lyon.fr

CERTIFICADO

El Sr. **Santiago SANDOVAL**, de nacionalidad colombiana, asistió a:

- **la escuela de verano de 2013**, con una duración de 25 horas semanales, del 18 de agosto al 12 de septiembre, es decir, **80 horas** en total, en un grupo de **nivel A1 - Usuario básico**.



Sede Calle 100: Carrera 15 No. 99 - 09 Local 102; Tel: +57 (601) 691 3148

Cel: 316 351 7615 - 315 867 7892

Sede Can: Calle 44 No. 54 – 22 - Cel: +57 310 613 2359

Web: www.actraducciones.com

E-mail: a.ctraducciones@outlook.com; calfonso@gmail.com


GERMAN FONSECA CHAPARRO
TRADUCTOR E INTERPRETE OFICIAL
ESPAÑOL - FRANCES - ESPAÑOL
RESOLUCION MINJUSTICIA NO. 2110
DICIEMBRE 12 DE 2003

- un **curso anual** de 2 horas semanales, de noviembre de 2013 a mayo de 2014, es decir, **20 horas** en total en un grupo de **nivel A2/B1 - Usuario básico/independiente**.

Hecho en Villeurbanne, 18 de marzo de 2016,

La Responsable

FIRMADO: Firma ilegible

SELLO REDONDO: INSA LYON - SERVICIO DE FRANCÉS

INSA LYON

Campus LyonTech La Doua

20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex -
Francia

Tel.+ 33 (0)4 72 43 83 83 - Fax + 33 (0)4 72 43 85 00

www.insa-lyon.fr



Miembro de

UNIVERSIDAD DE LYON

=====

La presente es una traducción completa y fiel y conservamos una copia en nuestros archivos para poder compararla, en su caso, con el documento original. - BOGOTÁ D.C. (Colombia), 18 de febrero de 2026- GERMÁN FONSECA CHAPARRO.



Sede Calle 100: Carrera 15 No. 99 - 09 Local 102; Tel: +57 (601) 691 3148

Cel: 316 351 7615 - 315 867 7892

Sede Can: Calle 44 No. 54 – 22 - Cel: +57 310 613 2359

Web: www.actraducciones.com

E-mail: a.ctraducciones@outlook.com; calfonsot@gmail.com



SERVICE DE FRANÇAIS

Bâtiment Les Humanités
1, rue des Humanités
69621 Villeurbanne cedex
Tél : +33 (0)4 72 43 83 66
Fax : +33 (0)4 72 43 88 95
servfran@insa-lyon.fr
<http://fle.insa-lyon.fr>

ATTESTATION

M. **Santiago SANDOVAL**, de nationalité colombienne,
a suivi :

. l'**école d'été 2013**, à raison de 25 heures par semaine, du 18 août au 12 septembre, soit **80 heures** au total, dans un groupe de **niveau A1- Utilisateur élémentaire**.

. un **cours annuel** de 2 heures par semaine, de novembre 2013 à mai 2014, soit **20 heures** au total dans un groupe de **niveau A2/B1- Utilisateur élémentaire/indépendant**.

Fait à Villeurbanne, le 18 mars 2016,

La Responsable



Elisabeth AUMEUNIER



INSA LYON

Campus LyonTech La Doua
20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex - France
Tél. + 33 (0)4 72 43 83 83 - Fax + 33 (0)4 72 43 85 00
www.insa-lyon.fr

membre de
UNIVERSITÉ DE LYON



N°d'ordre NNT : 2017LYSEI089

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

Ecole Doctorale EDA162
MECANIQUE, ENERGETIQUE, GENIE CIVIL, ACOUSTIQUE

Spécialité : Génie Civil

Soutenue publiquement le 10/10/2017, par :
Santiago SANDOVAL

**REVISITING STORMWATER QUALITY CONCEPTUAL
MODELS IN A LARGE URBAN CATCHMENT: ONLINE
MEASUREMENTS, UNCERTAINTIES IN DATA AND
MODELS**

**Révision des modèles conceptuels de qualité des
eaux pluviales sur un grand bassin versant urbain :
mesures en continue, incertitudes sur les données et
les modèles**

Devant le jury composé de :

BARRAUD, Sylvie

INSA LYON

Présidente

CLEMENS, François
TORRES, Andres
BONHOMME, Céline
VIKLANDER, Maria
RENARD, Benjamin

TU DELF
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
ECOLE DES PONTS – PARISTECH
LULEA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
IRSTEA LYON

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examinatrice
Examinateur

BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean-Luc

INSA LYON

Directeur de thèse

RESUME

Les modèles de Rejets Urbains par Temps de Pluie (MRUTP) de Matières en Suspension (MES) dans les systèmes d'assainissement urbains sont essentiels pour des raisons scientifiques, environnementales, opérationnelles et réglementaires. Néanmoins, les MRUTP ont été largement mis en question, surtout pour reproduire des données mesurées en continu à l'exutoire des grands bassins versants. Dans cette thèse, trois limitations potentielles des MRUTP traditionnels ont été étudiées sur un bassin versant de 185 ha (Chassieu, France), avec des mesures en ligne de 365 événements pluvieux : a) incertitudes des données dues aux conditions sur le terrain (acquisition et validation), b) incertitudes des modèles hydrologiques et des mesures de pluie et c) incertitudes des structures traditionnelles des MRUTP. Ces questions sont étudiées dans six chapitres indépendants, dont les principaux résultats peuvent être synthétisés comme suit :

a) Acquisition et validation des données : (i) quatre stratégies d'échantillonnage pendant les événements pluvieux sont simulées et évaluées à partir de mesures en ligne de MES et de débit. Les pas de temps d'échantillonnage recommandés sont de 5 min, avec des erreurs moyennes comprises entre 7 % et 20 % et des incertitudes sur ces erreurs d'environ 5 %; (ii) la probabilité de sous-estimation de la concentration moyenne en MES dans une section transversale du réseau est estimée à partir de deux méthodologies : méthode simplifiée (SM) et méthode des séries chronologiques (TSM). TSM montre des sous-estimations des MES plus réalistes (39 %) que TSM (269 %). Une loi puissance qui décrit la concentration en MES en fonction du débit a été établie, avec une variance des concentrations en MES qui augmente avec le débit.

b) Modèles hydrologiques et mesures de pluie : (iii) une stratégie d'estimation des paramètres d'un modèle conceptuel pluie-débit est proposée, en analysant la variabilité des paramètres optimaux obtenus à partir d'un calage bayésien événement par événement (SE), basé sur des techniques de clusters et représentations de graphes. Les résultats sont comparés aux calages bayésiens traditionnels, obtenus par SE et des calages multi-événementiels (ME). La nouvelle stratégie de calage montre les résultats les plus performants par rapport à SE et ME, en termes d'exactitude et de précision dans la phase de vérification. Une même structure de modèle permet de représenter au moins deux groupes de conditions hydrologiques différentes pour un bassin versant urbain; (iv) une méthode pour calculer les précipitations moyennes sur un bassin versant est proposée, sur la base du modèle hydrologique précédent et des données de débit. Les estimations de pluie moyenne par des facteurs multiplicatifs sur des fenêtres temporelles constantes et les valeurs manquantes estimées par un modèle inverse montrent les meilleurs résultats comparés à d'autres modèles d'estimation de pluie.

c) MRUTP (pollutographes) : (v) la performance du modèle traditionnel *rating curve* (RC) est supérieure à celle de différents modèles linéaires de fonctions de transfert (TF), surtout en termes de parcimonie et de précision des simulations. Aucune relation entre les potentielles erreurs de mesure de la pluie et les conditions hydrologiques définies en (iii) et (iv) et les performances des modèles RC et TF n'a pu être établie. Des tests statistiques indiquent que les événements non-représentables par les modèles RC ou TF au cours du temps sont distribués aléatoirement (indépendance par rapport à la durée de temps antérieure); (vi) une méthode de reconstruction bayésienne de variables d'état virtuelles indique que des processus potentiellement manquants dans le modèle RC sont pratiquement ininterprétables en termes d'une masse disponible sur le bassin versant qui diminuerait avec le temps, comme nombre de modèles traditionnels l'ont supposé.

APPENDICES

1. PRESENTATION DES RESULTATS MAJEURS DE LA THESE – RESUME ETENDU EXIGE POUR UNE THESE REDIGEE EN ANGLAIS (PRESENTATION OF THE PRINCIPAL RESULTS OF THE THESIS –LONG ABSTRACT DEMANDED FOR A THESIS WRITTEN IN ENGLISH)

CHAPITRE 2 Evaluation de performance et d'incertitudes dans les stratégies d'échantillonnage d'eaux de pluie, fondée sur le débit et les séries chronologiques de charge totale de solides en suspension

Introduction

Un indicateur commun pour estimer les émissions polluantes est la Concentration Moyenne d'Événement (CME), qui est très variable selon les stratégies d'échantillonnage adoptées (Lee *et al.*, 2007; Ki *et al.*, 2011). Les stratégies d'échantillonnage sont des règles d'applications pour l'échantillonnage de polluants, par exemple les charges Totales de Matière en Suspension (MES), pendant des événements pluvieux avec un échantillonneur automatique. La valeur CME est estimée en mélangeant manuellement ou automatiquement les échantillons individuels collectés dans un bocal à échantillon (Lee *et al.*, 2007). Le plus gros inconvénient pour évaluer quelle stratégie d'échantillonnage peut apporter les CME les plus justes est que le "vrai" CME ou le CME "de référence" est établi à travers des suppositions théoriques, vu le manque de données de concentration (par exemple : Ma *et al.*, 2009; Ki *et al.*, 2011) . D'autre part, de nombreux auteurs ont rapporté les bénéfices du suivi en ligne pour expliquer la variabilité significative de la qualité des eaux de pluie. En conséquence, le suivi en ligne émerge comme une alternative prometteuse pour l'estimation des "vrais" CME ou des CME "de référence" à travers une série de conditions. La présente étude propose de simuler et d'évaluer différentes stratégies d'échantillonnage (exemple : Ackerman *et al.*, 2010) en utilisant un débit de haute résolution et une série chronologique de MES pendant des événements pluvieux. Les CME de stratégies d'échantillonnage sont simulés en échantillonnant des séries chronologiques de TSS et en calculant une moyenne pondérée des échantillons par leurs volumes d'échantillonnage. Ces CME "simulés" sont comparés au "vrai" CME calculé comme une moyenne pondérée du débit complet et des séries chronologiques de MES pendant l'événement pluvieux.

Matériels et méthodes

Les quatre cas internationaux sont les suivants: i) Berlin, Allemagne (débordement d'égouts unitaire, surface de 100 ha, 22 événements pluvieux); ii) Chassieu, France (réseau séparatif des eaux, surface de 185 ha, 75 événements pluvieux); iii) Graz, Autriche (débordement d'égouts unitaire, surface de 335 ha, 85 événements) and iv) Ecully, France (réseau d'égouts unitaire, surface de 245 ha, 200 événements pluvieux). Les CME obtenus à partir de stratégies d'échantillonnage (CEMsim) sont simulés en échantillonnant des séries chronologiques de

Traducción oficial de un documento escrito en francés, debidamente sellado por María Luisa Molano Vásquez, traductora e intérprete oficial según decreto 0332 del 28 abril 1997 del Ministerio de la Justicia de la República de Colombia.

República Francesa

Ministerio de la Enseñanza Superior, la Investigación y la Innovación

Universidad de Lyon

Doctorado

Considerando el Código de Educación, especialmente sus artículos L.612-7; L.613-1, D.613-3 y D.613-6;

Considerando el Código de la Investigación, especialmente su artículo L.412-1;

Considerando el Decreto No. 2015-127 del 5 de febrero del 2015 que trata sobre la aprobación de los estatutos de la comunidad de universidades y establecimientos “Universidad de Lyon”

Considerando la Resolución del 10 de junio del 2016 que acredita a la comunidad de universidades y establecimientos Universidad de Lyon para la expedición de diplomas nacionales ;

Considerando los documentos justificativos del señor **SANDOVAL ARENAS Santiago** nacido el 13 de abril de 1987 en Bogotá (Colombia) para su inscripción al doctorado;

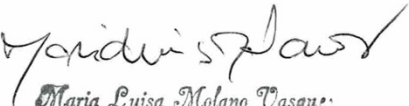
Considerando las actas del jurado que certifican que el interesado ha hecho una sustentación el 5 de diciembre del 2017 de una tesis que trata sobre el siguiente tema:

“Revisiting stormwater quality conceptual models in a large urban catchment: Online measurements, uncertain in data and models » (SIC)

preparada en el seno de nuestra Escuela Doctoral Mega de Lyon (Mecánica, energética, ingeniería civil, acústica) ante un jurado presidido por la señora BARRAUD Sylvie (INSA de Lyon) (profesora y compuesto por:

A. TORRES (PUJ, Pontificia Universidad Javeriana) (profesor, señor VIKLANDER (LULEA University of Technology), B. RENARD INSTEAD Lyon (CR), JL. BERTRAND-KRAJEWSKI (INSA de Lyon) (profesor) F. CLEMENS (TU DELFT) (profesor), C. BONHOMME (Escuela de Obras, ParisTech)(HDR)

Considerando la deliberación del jurado;


Maria Luisa Molano Vasquez
TRADUCTORA E INTERPRETE OFICIAL
FRANCES - ESPAÑOL - FRANCES
RESOLUCION 0332 MINJUSTICIA 1997

El diploma de **Doctorado en Ingeniería civil**
preparado en el seno del Instituto nacional de ciencias aplicadas de Lyon
le es otorgado al señor SANDOVAL ARENAS Santiago

A título del **año universitario 2017**
y le confiere el **Grado de Doctor**,
Para ejercer con todos sus derechos y prerrogativas que le son vinculados.

Hecho el 5 de marzo del 2018.

El titular - firma ilegible

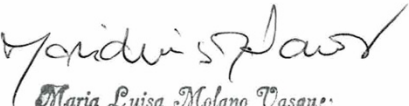
El Presidente de la COMUE
Firma ilegible – Khaled BOUABDALLAH
Sello: Universidad de Lyon

El director de INSA de Lyon
Firma ilegible – Eric MAURINCOMME
Sello: Instituto nacional de ciencias aplicadas de Lyon

El Rector de la Academia – Canciller de Universidades
Firma ilegible - Marie-Daniele CAMPION
Sello: Academia * Rector

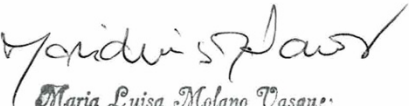
N° **INSALYO 12401172** **D 2017-121**

Sello: Ciudad de Lyon (Rhône-France)
Alcaldía de la Tercera localidad
Certifica como conforme el original destinado únicamente a las autoridades
extranjeras.
Para Colombia
Lyon, el 4 de febrero del 2019
Por el Alcalde y por delegación
El funcionario comunal
Firma ilegible
Sello: República francesa * Alcaldía de Lyon


Maria Luisa Molano Vasquez
TRADUCTORA E INTERPRETE OFICIAL
FRANCES - ESPAÑOL - FRANCES
RESOLUCION 0332 MINJUSTICIA 1997

APOSTILLA			
(Convención de La Haya del 5 de octubre de 1961)			
1.	República francesa		
El presente acto público			
2.	Ha sido firmado por :	Marylene. BRON	
3.	Actuando en calidad de:	Funcionario municipal	
4.	Lleva el sello /estampilla de:	TerceranLocalidad de la alcaldía de Lyon	
CERTIFICADO			
5.	En:	Paris	
5.	El:	4 de febrero de 2019	
6.	El Procurador general ante la Corte de justicia de Lyon		
8.	Bajo el Numero:	1 0 1 8	
9.	Sello redondo: Corte de apelación de Lyon	Firma ilegible Monique LABELLI Primer abogado general	
<i>Advertencia: La apostilla confirma solamente la autenticidad de la firma, del sello o de las estampillas del documento. Ello no significa que el contenido del documento sea correcto o que la República Francesa apruebe su contenido</i>			

Esta es una traducción conforme al original, de la que se guarda copia en los archivos del traductor para verificación – Hecho en Bogotá el 21 de junio de 2025.


 Maria Luisa Molano Vasquez
 TRADUCTORA E INTERPRETE OFICIAL
 FRANCES - ESPAÑOL - FRANCES
 RESOLUCION 0332 MINJUSTICIA 1997

R É P U B L I Q U E F R A N Ç A I S E
Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
UNIVERSITE DE LYON
DOCTORAT

Vu le code de l'éducation, notamment ses articles L.612-7, L.613-1, D.613-3 et D.613-6 ;
Vu le code de la recherche, notamment son article L. 412-1 ;

Vu le décret n°2015-127 du 5 février 2015 portant approbation des statuts de la communauté d'universités et établissements "Université de Lyon"
Vu l'arrêté du 10 juin 2016 accordant la communauté d'universités et établissements Université de Lyon en vue de la délivrance de diplômes nationaux
Vu les pièces justificatives produites par M. SANDOVAL ARENAS Santiago

né(e) le 13/04/1987 à BOGOTA (COLOMBIE)

Vu le procès-verbal du jury attestant que l'intéressé(e) a soutenu, le 05 décembre 2017 une thèse portant sur le sujet suivant :

REVISITING STORMWATER QUALITY CONCEPTUAL MODELS IN A LARGE URBAN CATCHMENT: ONLINE MEASUREMENTS, UNCERTAINTIES IN DATA AND MODELS

préparée au sein de l'école doctorale MEGA DE LYON (MÉCANIQUE, ÉNERGÉTIQUE, GÉNIE CIVIL, ACOUSTIQUE)
devant un jury présidé par Mme BARRAUD SYLVIE (INSA DE LYON) (Prof) et composé de :

A. TORRES (PUJ, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA) (Prof), M. VIKLANDER (ULEA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) (Prof), B. RENARD (IRSTEA LYON) (CR), JL. BERTRAND-KRAJEWSKI (INSA DE LYON) (Prof), F. CLEMENS (TU DELFT) (Prof), C. BONHOMME (ECOLE DES PONTS, PARISTECH) (HDR)

Vu la délibération du jury :

Le diplôme de DOCTORAT en GÉNIE CIVIL
préparé au sein de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
est délivré à M. SANDOVAL ARENAS Santiago

au titre de l'année universitaire 2017

et confère le grade de docteur,

pour en jouir avec les droits et prérogatives qui y sont attachés.

Fait le 05 mars 2018

Le titulaire

Santiago Sandoval

Le président de la COMUE

Khaled BOUABDALAH

Le directeur de l'INSA de LYON

Éric Maurincompine

Le Recteur d'Académie
Chancelier des universités



VILLE DE LYON (Rhône-France)
MAIRIE DU 3^e Arrondissement
Certifié conforme à l'original et destiné
uniquement aux autorités étrangères.
POUR LA CÉLÉBRATION
LYON, le **04 FEV 2018**
LE MAIRE DE LYON

Pour le Maire et par délégation
L'agent communal



Stéphane Bonnet

N° INSALYO 12401172

Marie-Danièle Carpi 2617-121