

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA PRONÓSTICO DE
INUNDACIONES DE LA CUENCA HERS-MORT, TOULOUSE-
FRANCIA, MEDIANTE LA PLATAFORMA PLATHYNES”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

ALEXANDER EDUARDO GONZALEZ ALFARO

LIMA – PERÚ

2023

TSP Alexander Eduardo Gonzales Alfaro

MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA PRONÓSTICO DE INUNDACIONES DE LA CUENCA HERS-MORT, TOULOUSE-FRANCIA, MEDIANTE LA PLATAFORMA PLATHYNES

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

tel.archives-ouvertes.fr

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

4

mafiadoc.com

Fuente de Internet

<1%

5

docplayer.fr

Fuente de Internet

<1%

6

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

7

www.ohmcv.fr

Fuente de Internet

<1%

8

Isabelle Braud, Béatrice Vincendon, Sandrine Anquetin, Véronique Ducrocq, Jean-

<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MODELACIÓN HIDROLÓGICA PARA PRONÓSTICO DE
INUNDACIONES DE LA CUENCA HERS-MORT, TOULOUSE-
FRANCIA, MEDIANTE LA PLATAFORMA PLATHYNES”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. ALEXANDER EDUARDO GONZALEZ ALFARO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. DAVID RICARDO ASCENCIOS TEMPLO
Presidente

Dr. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE
Asesor

Mg. Sc. RICARDO APACLLA NALVARTE
Miembro

Dr. GONZALO RAMCÉS FANO MIRANDA
Miembro

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mi amada familia y querida esposa,

Este logro no hubiera sido posible sin su amor incondicional, apoyo constante y paciencia infinita. A ustedes dedico este trabajo, que es el fruto de mi esfuerzo y dedicación, pero también un testimonio de la fortaleza que encuentro en su presencia en mi vida.

Gracias por ser mi fuente de inspiración y motivación. Cada página de este informe lleva un pedazo de su amor y apoyo. Con gratitud eterna, dedico este logro a ustedes, quienes han sido mi solido apoyo en este viaje académico.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer al responsable del Servicio de Prevención de Inundaciones de Garonne Tarn Lot (SPC GTL), Arthur MARCHANDISE, y a mis colegas Jean-Nicolas AUDOUY y Ludovic ROUTHÉ por haberme, asesorado y ayudado a lo largo de mi estancia. Gracias por tomarse el tiempo para reunirse conmigo y discutir mi trabajo.

Gracias también a mi asesor encargado del presente trabajo, Dr. Eduardo CHAVARRI, gracias por darse tiempo en asesorarme en el mismo.

A todos los que me ayudaron de cerca o de lejos, a todos los que me animaron, a todos los que me dieron su confianza, a todos los que me mostraron su interés, ¡¡a todos ustedes

GRACIAS!!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática.....	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. ¿Qué es un modelo matemático?.....	4
2.2. ¿Cuál es el propósito de un modelo lluvia - caudal?.....	5
2.3. Tipos de modelos.....	5
III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	9
3.1. Presentación del Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), de la DREAL Occitania y de la red Vigicrues.....	9
3.2. Presentación del área de estudio: Cuenca del Hers-Mort.....	12
3.3. Aplicación del modelo hidrológico espacial	13
3.4. Constitución y procesamiento del conjunto de datos para la modelización.....	14
3.5. Elección y descripción del modelo hidrológico utilizado	15
3.5.1. Utilización de la plataforma PLATHYNES	16
3.5.2. Metodología de la calibración con la plataforma PLATHYNES	17
3.5.3. Características de los parámetros calibrados	18
3.5.4. Método de evaluación del modelo.....	19
3.5.5. Principio de calibración/control.....	19
3.5.6. Criterios de performance de la calibración y validación	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. Resultados de la calibración en la estación de Quint Fonsegrives	21
4.1.1. Comparación de caudales máximos, con S óptima y S de regresión de PLATHYNES	24
4.2. Resultados de calibración en la estación de Baziège:	26
4.2.1. Comparación de caudales máximos, con S óptimo y S de la función de regresión del PLATHYNES en Baziège	28

4.3. Presentación de hidrogramas simulados.....	30
4.4. Modelamiento hidráulico	32
4.4.1. Presentación del modelo hidráulico - MASCARET.....	34
4.4.2. Construcción del modelo hidráulico.....	34
4.4.3. Calibración del modelo hidráulico	35
4.4.4. Resultados de la calibración del modelo hidráulico	35
V. CONCLUSIONES	39
VI. RECOMENDACIONES	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
VIII. ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados de la calibración con PLATHYNES para eventos inferiores a 12 m ³ /s	22
Tabla 2: Resultados de la calibración con SCS/LR para eventos superiores a 12 m ³ /s.....	22
Tabla 3: Resultado NASH, después de la calibración con regresión S/HU2	23
Tabla 4: Caudales máximos con S óptimo	24
Tabla 5: Caudales máximos con regresión S.....	25
Tabla 6: Resultados de la calibración con PLATHYNES para eventos de menos de 30 m ³ /s	26
Tabla 7: Resultados de calibración con PLATHYNES para eventos mayores que 30 m ³ /s	26
Tabla 8: Resultado de NASH, después de la calibración con regresión S/HU2	27
Tabla 9: Caudales máximos con S optimo	28
Tabla 10: Caudales máximos con S regresión.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de modelo de transformación de lluvia en caudal	4
Figura 2: Esquema general de función de producción y función de transferencia.....	5
Figura 3: En la izquierda, modelo hidrológico con reservorios, en la derecha esquema modelo hidrológico Mike-SHE	6
Figura 4: Gráfico de análisis hidrológicos en modelo continuo y en modelo por evento	7
Figura 5: Representación gráfica de un modelo global y modelo distribuido.....	8
Figura 6: Territorio de acción del Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), dentro del círculo rojo, la cuenca de Hers-Mort, para el estudio de modelización.....	11
Figura 7: A la derecha, mapa de vigilancia en la cuenca Garonne-Tarn-Lot, a la izquierda diagrama histórico de la evolución del nivel de agua en el río.....	11
Figura 8: Cuenca del Hers-Mort y la red hidrológica.....	13
Figura 9: Representación gráfica de la influencia de los parámetros sobre los hidrogramas simulados en PLATHYNES, calibrada para cada evento	18
Figura 10: Regresión lineal, entre S óptimo calibrado en eventos mayores a 12 m ³ /s.....	23
Figura 11: Regresión lineal entre Q _{obs} y Q _{sim}	24
Figura 12: Regresión lineal entre Q _{obs} y Q _{sim}	25
Figura 13: Regresión lineal, entre s óptimo y S calibrado en eventos mayores a 30 m ³ /s .	27
Figura 14: Regresión lineal entre Q _{obs} y Q _{sim}	28
Figura 15: Regresión lineal entre Q _{obs} y Q _{sim}	29
Figura 16: Hidrogramas del 31/05/2013.....	30
Figura 17: Hidrogramas del 31/05/2013.....	30
Figura 18: Hidrogramas del 16/07/2018.....	31
Figura 19: Hidrogramas del 16/07/2018.....	31
Figura 20: Longitud del modelo hidráulico	33
Figura 21: Comparación de caudales simulados con MASCARET	36
Figura 22: Curva de calibración a partir de modelamiento hidráulico (curva roja), curva de ajuste n°2020 a partir de una regresión en caudales calibrados (curva verde) y los puntos azules representan caudales medidos.....	37
Figura 23: Perfil 23 inundado	37
Figura 24: Perfil 51 inundado	38

RESUMEN

Este estudio, llevado a cabo dentro del Servicio de Predicción de Inundaciones Garonne Tarn Lot (SPC GTL) de la DREAL Occitanie, tiene como objetivo mejorar el conocimiento y la predicción de inundaciones en la cuenca del río Hers mort en Pont de Périole (768 km²). El SPC ha emprendido una acción para implementar una modelización mixta hidrológica/hidráulica en el tramo entre Baziège (450 km²) y Pont de Périole. La predicción en Pont de Périole se explica tanto por la propagación de la crecida formada aguas arriba de Baziège como por los aportes en la cuenca intermedia, especialmente los aportes de dos afluentes: el Saune y la Marcaissonne. En una primera fase, se establece y evalúa una modelización distribuida lluvia-caudal para simular los aportes de la cuenca aguas arriba de Baziège y en la cuenca intermedia del Saune hasta Quint-Fonsegrives (106 km²). Se utiliza el modelo SCS-LR a través de la plataforma PLATHYNES. El rendimiento del modelo, evaluado en quince crecidas entre 2009 y 2020, resulta satisfactorio, especialmente en las crecidas desbordantes. Paralelamente, se realizó una modelización hidráulica 1D con las herramientas MASCARET y QGIS entre Baziège y Pont de Périole. Una primera aplicación del modelo en régimen permanente permitió extrapolar la curva de calibración en la estación de Baziège hasta un caudal del orden de 200 m³/s. El trabajo continuará con una calibración y aplicación del modelo construido en el tramo entre Baziège y Ponte-de-Périole. El modelo hidrológico calibrado en el Saune se aplicará en todos los afluentes del Hers mort.

Palabras clave: Inundación, hidrología, caudal máximo, PLATHYNES, MASCARET.

ABSTRACT

This study was realized in the Garonne, Tarn, and Lot Flood Forecasting Service (Service de Pr evision des Crues Garonne Tarn Lot -SPC GTL) and its aims was to improve knowledge and flood forecast on this watershed. SPC initiated action to enforce a hydrology/hydraulic mixed model on the whole Baziège-Pont de Périole line. The forecast in Pont de Périole is indeed explained, both by the propagation of the flood wave, formed in the upstream, and by, the contribution of the subwatershed (contribution of the Saune and the Marcaissonne). A distributed modelling was considered because the physical characteristics and the watershed precipitations are heterogenous. SCS-LR and MARINE models were used through PLATHYNES interface. Different configurations of the models were tested. Once calibrated, the models were evaluated thanks to performance criteria. Modelling with PLATHYNES highlighted the gain of performance for very localized rainy events, as storms. The hydraulic model was realized with MASCARET tool and QGIS. This helped us to calibrate the rating curve in Baziège's upstream station on the Hers Mort River, and, fix Strickler coefficients, as the steady-state simulation on the first section, allowed us to see how a high flow ($200 \text{ m}^3/\text{s}$) can or cannot cause waterfloods.

Keywords: waterfloods, Calibrations, hydrology, maximum flow, PLATHYNES MASCARET.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo se desarrolló en el Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), perteneciente a la red Vigicrues, que garantiza la vigilancia y la previsión de inundaciones en los 28.000 kilómetros de ríos vigilados por el gobierno francés. Su objetivo es anticipar eventos de inundación que puedan causar daños a bienes y personas, según los procedimientos definidos en los documentos reglamentarios para la vigilancia de inundaciones. El portal web de Vigicrues se actualiza al menos dos veces al día para informar a la población del estado de las principales redes hidrológicas y de su nivel de vigilancia.

El trabajo se refiere al modelado hidrológico/hidráulico mixto de Hers-Mort. Se eligió esta cuenca por su carácter favorable para la formación de crecidas rápidas. Las precipitaciones pueden ser muy intensas y heterogéneas y la escorrentía se propaga rápidamente. Los desafíos se concentran principalmente en el nivel de la cuenca de Baziège aguas arriba, la cuenca intermedia de Saune, las estaciones hidrométricas de Pont de Périole en Hers-Mort en Toulouse y la estación aguas arriba de Baziège en Hers-Mort. La previsión del nivel o caudal del agua en diferentes sitios hidrológicos se realiza a partir de observaciones y previsiones meteorológicas proporcionadas principalmente por Météo France y datos hidrométricos recogidos principalmente por las Unidades Hidrométricas (UH) de la red Vigicrues. Los modelos hidrológicos se construyen y calibran con el fin de anticipar el comportamiento de los ríos, particularmente en aguas arriba, a partir de la información disponible sobre precipitaciones. La mayoría de los modelos hidrológicos son del tipo global, es decir que se modela la cuenca como una entidad homogénea. También existen los llamados modelos distribuidos, que discretizan la cuenca en subunidades, permitiendo tener en cuenta la especialización de las características de la cuenca.

1.1. Problemática

Según el SBHG (2021), la cuenca hidrográfica del Hers-Mort es caracterizada por su humedad y terrenos pantanosos, se llevaron a cabo proyectos de drenaje mediante la rectificación del lecho del río desde el año 1554 por parte de los municipios de Toulouse. En el siglo XVII, la construcción de acueductos para el Canal du Midi obligó a profundizar los principales afluentes del Hers-Mort, lo que generó la necesidad de enderezar el lecho a pesar de la oposición de los propietarios de molinos. En 1745, un programa de recuperación impulsado por el poder real abarcó desde Villefranche de Lauragais hasta Saint-Jory.

Durante más de un siglo, la Asociación Sindical de propietarios ribereños realizó obras de contención y limpieza, pero las inundaciones de 1950 a 1975, causaron pérdidas humanas y materiales. Ante la necesidad de obras más grandes, se creó un sindicato intermunicipal en 1972 para encauzar y mantener el Hers-Mort, y posteriormente se optó por enfoques de restauración de vegetación. Este sindicato ha evolucionado con el tiempo, convirtiéndose en lo que hoy se conoce como el “SYNDICAT DU BASSIN HERS-GIROU” (SBHG), y ha llevado a cabo trabajos en el cauce y afluentes del Hers-Mort, así como en la gestión sostenible de las tierras ribereñas. Por otra parte, el gobierno francés con la administración regional (DREAL), ha apoyado a estos sindicatos, con presupuestos económicos y con personal técnico/científico; La unidad de prevención de inundaciones, están permanentemente monitoreando y mejorando los modelos hidrológicos e hidráulicos que ayuden a prevenir y gestionar mejor los riesgos naturales.

La problemática que motiva este proyecto se centra en la necesidad de mejorar tanto el conocimiento como la capacidad de predicción de las inundaciones en la cuenca del río Hers-Mort, en la zona baja de la cuenca específicamente en Pont-de-Périole. La complejidad de los eventos de inundación y su impacto en esta área geográfica requieren un enfoque integral que combine la modelización hidrológica e hidráulica para comprender y prever de manera más precisa el comportamiento de los caudales y la propagación de las crecidas. Además, se reconoce que las inundaciones son el resultado de una combinación de factores, incluidos los aportes de los afluentes, la topografía y las condiciones hidrológicas de la cuenca. Por lo tanto, la problemática se enfoca en cómo mejorar la capacidad de predicción de las crecidas y su propagación en esta región, considerando tanto las variables hidrológicas como las hidráulicas, y abordando desafíos como la validación y calibración de los modelos, así como

la integración de datos en tiempo real para una toma de decisiones más efectiva en situaciones de riesgo de inundación.

El objetivo de este estudio es implementar una cadena de pronóstico hidrológico/hidráulico para la predicción de inundaciones en la cuenca del Hers-Mort y evaluar su rendimiento

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo del trabajo fue la construcción de un modelo que combine un modelo hidrológico e hidráulico (lluvia/caudal “SCS Lag&Rout”) para mejorar los pronósticos de eventos de crecidas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Calibrar y validar el modelo hidrológico para distintos eventos de crecidas con el programa PLATHYNES
- Realizar la modelación hidráulica con el programa MASCARET
- Realizar el catálogo de eventos de crecidas e inundaciones históricos (2009-2020)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ¿Qué es un modelo matemático?

"Conjunto de ecuaciones que dan cuenta de un fenómeno complejo y permiten describir sus características y predecir su evolución" (Diccionario de la academia francesa, 2023). Figura 1, En el caso de un modelo lluvia-caudal, este conjunto de ecuaciones vincula las variables de entrada o variables de forzamiento (lluvia) con las variables de salida o pronóstico (caudales), teniendo en cuenta las variables de estado o variables internas (cuenca, humedad, crecimiento de la vegetación, nivel de llenado del depósito, etc.) del sistema.

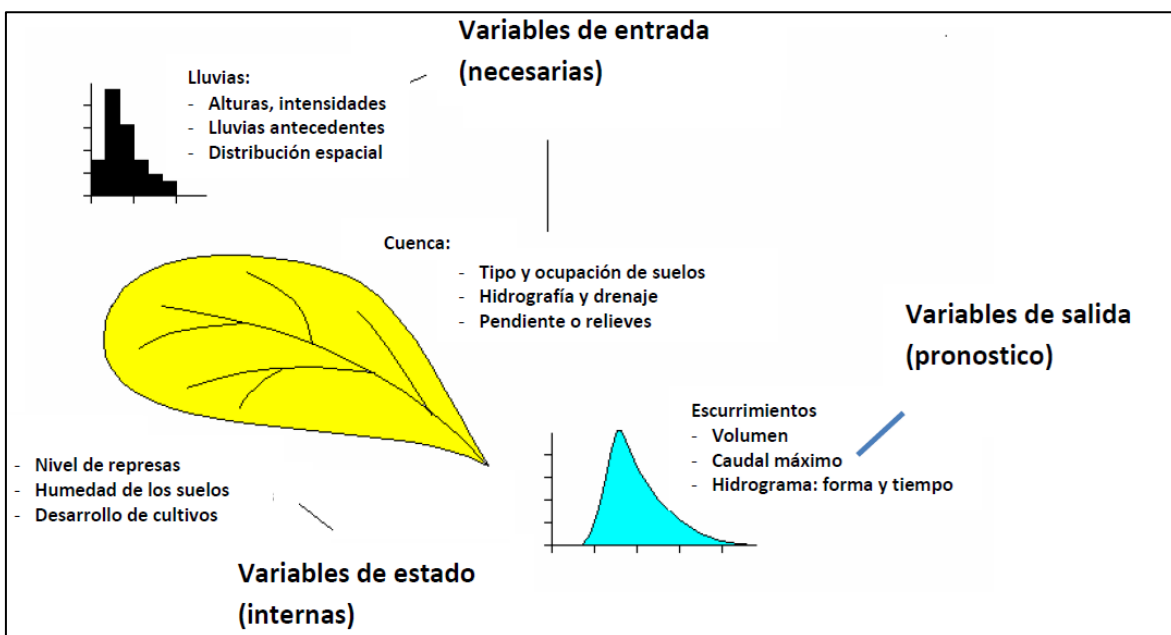


Figura 1: Esquema general de modelo de transformación de lluvia en caudal

FUENTE: Marchandise *et al.* (2018)

Figura 2, Un modelo de lluvia/caudal generalmente consiste en una función de producción (transformación de la precipitación en precipitación eficiente, disponible en la escorrentía) y una función de transferencia (enruta la lluvia efectiva a la salida y reconstruye la dinámica de la inundación).

En una visión muy reductiva, un modelo de lluvia-escorrentía equivale a estimar un coeficiente de escorrentía (posiblemente variable en tiempo y espacio) y una velocidad de escurrimiento (que también puede variar en tiempo y espacio).

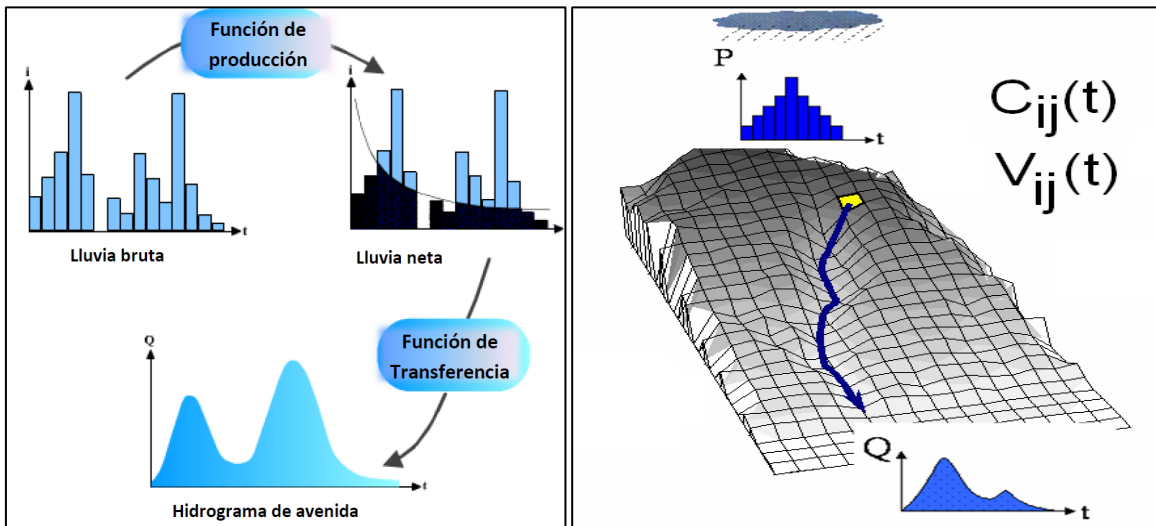


Figura 2: Esquema general de función de producción y función de transferencia

FUENTE: <http://hydram.epfl.ch/e-drologie>

2.2. ¿Cuál es el propósito de un modelo lluvia - caudal?

Bouvier *et al.* (2020), los caudales de los ríos son relativamente escasos y difíciles de medir. Las precipitaciones son más fáciles de medir y más fáciles de acceder, en tiempo real o con retraso. La función principal de los modelos lluvia - caudal, es, por lo tanto, simular caudales utilizando valores de lluvia disponibles o probables. Por extensión, un modelo lluvia - escorrentía tiene la función de simular los caudales de los ríos en cualquier situación que (la mayoría de las veces) escapa a la observación:

- Cálculo de caudales extremos
- Cálculo de caudales en una cuenca no aforada
- Previsión de los caudales en diferentes horizontes de tiempo
- Impacto sobre los caudales por las modificaciones del clima o de la cuenca

2.3. Tipos de modelos

Bouvier *et al.* (2020), los modelos lluvia-caudal son numerosos, pero se pueden agrupar en ciertas familias grandes, dentro de las cuales las propiedades de los modelos son relativamente similares:

Dependiendo de la naturaleza de las ecuaciones involucradas en el modelo, y el vínculo más o menos fuerte con la física de los procesos: modelos empíricos (regresiones, redes neuronales), "conceptuales" (modelos de reservorios), "basados físicamente" (basados en las ecuaciones del Mecafllu) (ver Figura 3).

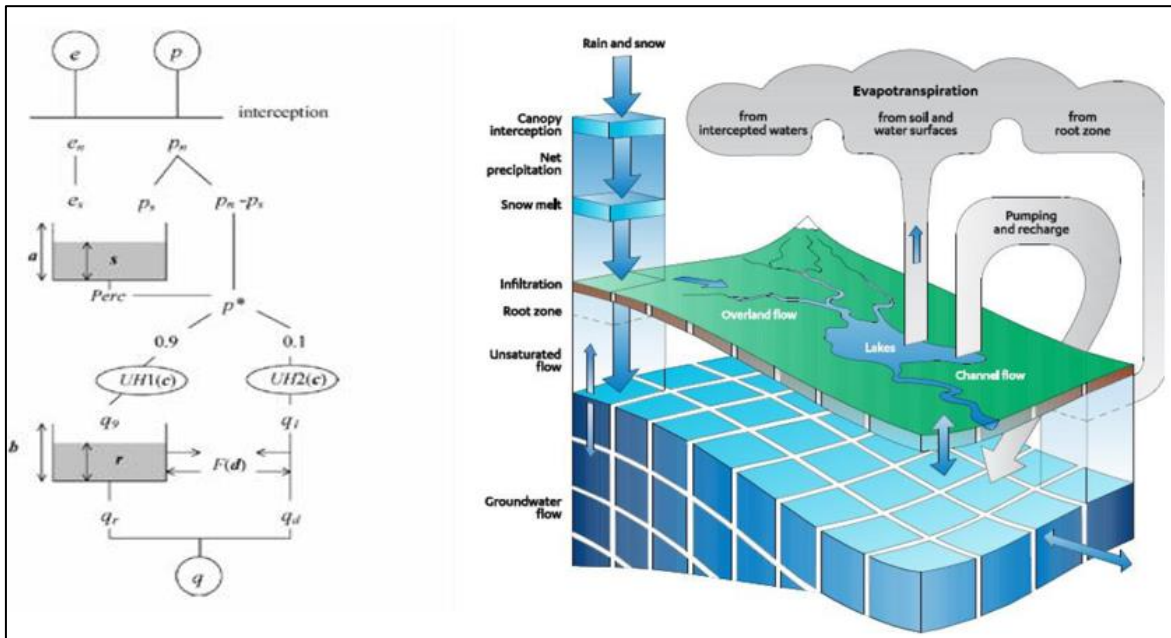


Figura 3: En la izquierda, modelo hidrológico con reservorios, en la derecha esquema modelo hidrológico Mike-SHE

FUENTE: Bouvier *et al.* (2020)

Bouvier *et al.* (2020), los modelos físicamente basados utilizan por ejemplo las ecuaciones de Richards (para la circulación del agua en la zona subterránea no saturada), de Darcy (para la circulación del agua en la zona subterránea saturada), de Barré de Saint Venant (para los escurrimientos en superficie libre) y de Penman-Monteith (para la evapotranspiración). En estas ecuaciones intervienen numerosos datos del medio físico, que son generalmente poco accesibles (propiedades texturales, estructurales, hidrodinámicas del suelo, características de la vegetación, estado de la atmósfera...), y además dichas ecuaciones deben ser aplicadas en unas escalas muy finas, sea por razones físicas o sea por razones numéricas. Estos modelos son entonces difícilmente aplicables en la práctica, sin embargo, son herramientas que pueden ser adaptadas a los estudios de impacto (cambio del clima, modificación de la cuenca) o a las pruebas de hipótesis.

Los modelos empíricos proponen una visión del funcionamiento de la cuenca fundada en la observación, en una escala en donde los procesos elementales están integrados dentro de conceptos simplificados. Esos modelos utilizan un número reducido de parámetros, y por lo tanto son más fáciles de utilizar y calibrar. En cambio, su extrapolación fuera del dominio de observación no está garantizada.

Según el rango de caudales simulados:

- modelo continuo (el modelo simula la totalidad del periodo de escurrimiento),
- modelo por evento (el modelo describe solamente el episodio de avenida, o de sequía, o de cualquiera otra fase de escurrimiento).

François-Noël *et al.* (2020), los modelos continuos tienen la ventaja de simular la totalidad de la sucesión de los caudales, lo que incluye en particular las condiciones iniciales al principio de un episodio de avenida. Sin embargo, esos modelos requieren un volumen importante de datos, y potencialmente, un gran número de parámetros (tomando en cuenta la complejidad de la fase inter-evento). Los modelos por evento exigen menos datos, generalmente menos complejos, pero deben inicializarse por variables externas.

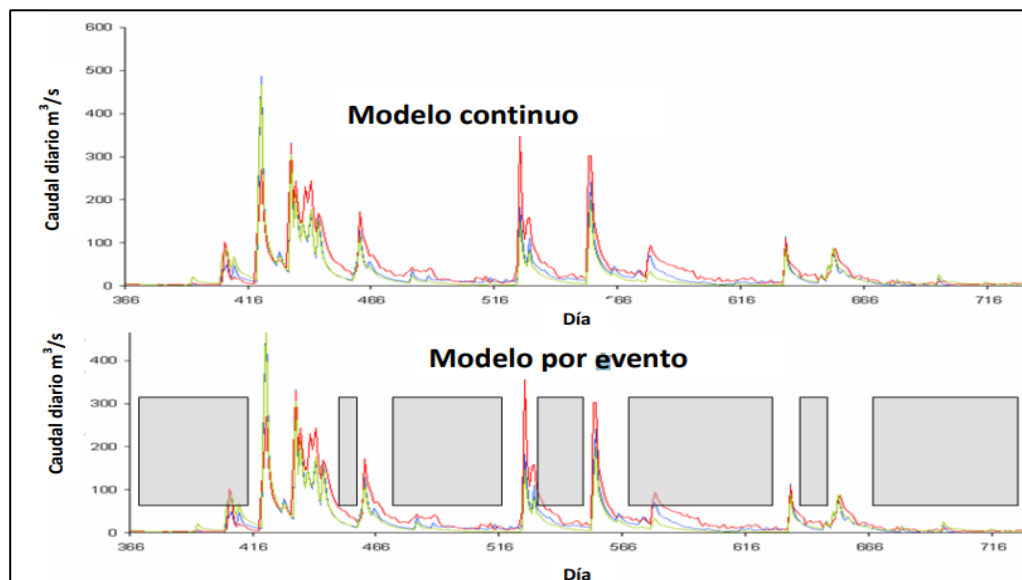


Figura 4: Gráfico de análisis hidrológicos en modelo continuo y en modelo por evento

FUENTE: Distributed rainfall-runoff modelling with ATHYS software

Según la topología elemental:

- modelo global (las variables se expresan mediante valores promedios sobre la cuenca, lluvia media, pendiente media, etc.)
- modelo distribuido (la organización espacial es tomada en cuenta)

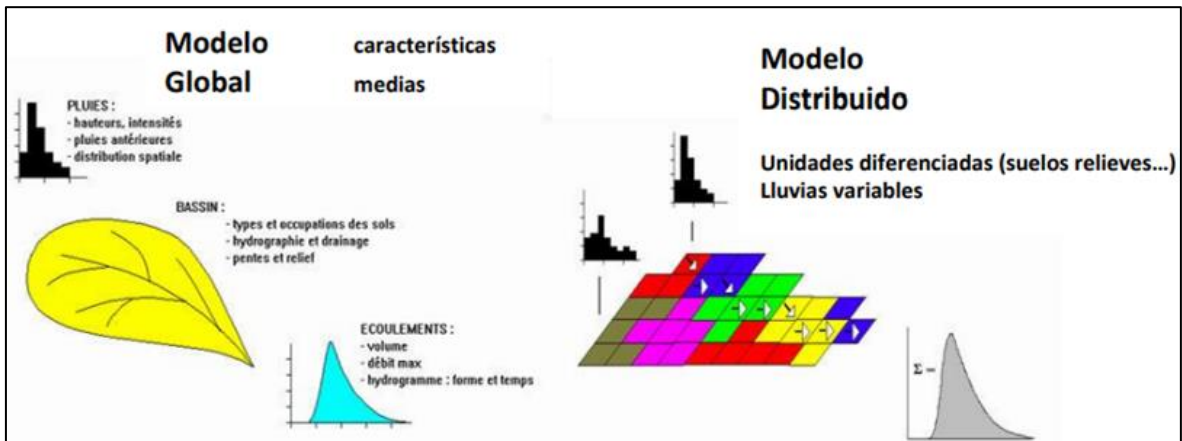


Figura 5: Representación gráfica de un modelo global y modelo distribuido

FUENTE: Distributed rainfall-runoff modelling with ATHYS software

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Presentación del Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), de la DREAL Occitania y de la red Vigicrues

El proyecto se realizó en el Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), que forma parte de la red Vigicrues, y garantiza la vigilancia y la previsión de inundaciones en un territorio vasto y diverso: 55.000 km²; 2.800 km de cursos de agua vigilados divididos en 20 secciones de vigilancia; 2 regiones y 13 departamentos afectados (figura 6). Su objetivo es anticipar eventos de inundación que puedan causar daños a bienes y personas, de acuerdo con los procedimientos definidos en los documentos reglamentarios de vigilancia de inundaciones. La DREAL despliega recursos humanos y técnicos para garantizar este seguimiento: 20 prevencionistas, 10 técnicos de mantenimiento, 8 hidrómetros; 130 estaciones que miden los niveles de agua y lluvia, incluidas 70 estaciones meteorológicas de pronóstico y un sitio web de información actualizados permanentemente durante el día (https://www.vigicrues.gouv.fr/ftp/plaquettes/plaquette_SPC25.pdf).

El objetivo de estas instituciones es la creación de un procedimiento de vigilancia de las inundaciones que obedezca a una doble exigencia: provocar y permitir una actitud de vigilancia hidrológica compartida por el mayor número posible de actores (servicios estatales, alcaldes, medios de comunicación y demás autoridades). esto implica que todos deben poder acceder directa y simultáneamente a la información emitida por el SPC (Servicios de Previsión de Inundaciones) y el SCHAPI (Servicio Central de Apoyo a la Hidrometeorología y Previsión de Inundaciones) con mapas temáticos de vigilancia o boletines informativos, permitir simplificar la alerta de inundaciones y hacer notar la diferencia entre fenómenos hidrológicos verdaderamente intensos (colores naranja y rojo) y las consecuencias, pueden justificar y poner en marcha el sistema de gestión de crisis (https://www.vigicrues.gouv.fr/ftp/SDPC/SDPC_Adour-Garonne_2015.pdf)

La información de vigilancia de inundaciones consiste, por analogía con el sistema de vigilancia meteorológica, en calificar el nivel de vigilancia requerido teniendo en cuenta los fenómenos previstos para las próximas 24 horas y ello mediante una escala de colores con cuatro niveles: verde, amarillo, naranja y rojo.

- Rojo: riesgo de grandes inundaciones, amenaza directa y generalizada a la seguridad de las personas y los bienes
- Naranja: riesgo de inundaciones que generen desbordamientos importantes que puedan tener un impacto significativo en la vida colectiva o la seguridad de los bienes y las personas.
- Amarillo: riesgo de inundación o aumento rápido del nivel del agua que no causa daños significativos, pero requiere especial vigilancia en el contexto de actividades estacionales y/o expuestas.
- Verde: No se observan inundaciones previsibles. No se requiere vigilancia especial.

Eventualmente; el SPC y SCHAPI, difunden toda la información de forma sencilla y práctica para todos los interesados, esta información se presenta en el sitio web de Vigicrues (<https://www.vigicrues.gouv.fr/>), la vigilancia meteorológica se publica todos los días a las 10 y las 4 de la tarde, y las clases de vigilancia “lluvia-inundación” también son 4, con los mismos códigos de colores que la vigilancia de inundaciones (ver Figura 7).

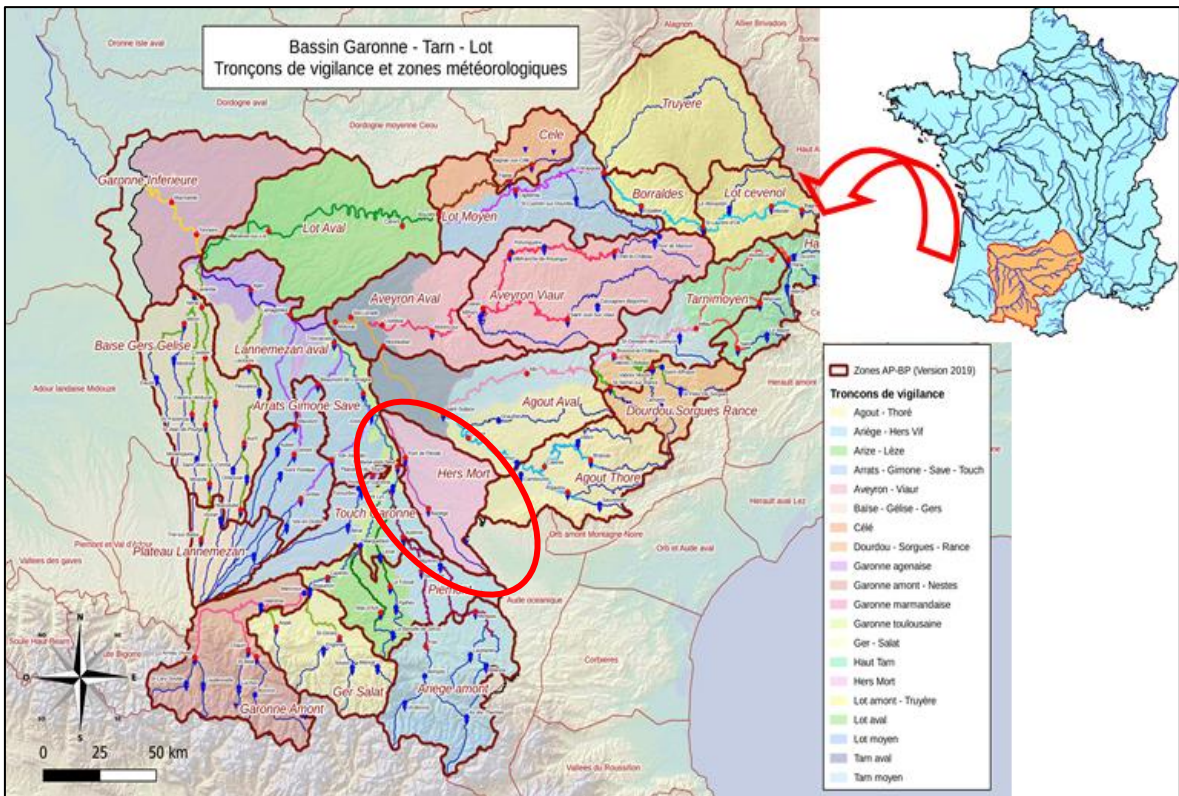


Figura 6: Territorio de acción del Servicio de Previsión de Inundaciones del Garona Tarn Lot (SPC GTL), dentro del círculo rojo, la cuenca de Hers-Mort, para el estudio de modelización

FUENTE: Routhe (2020)

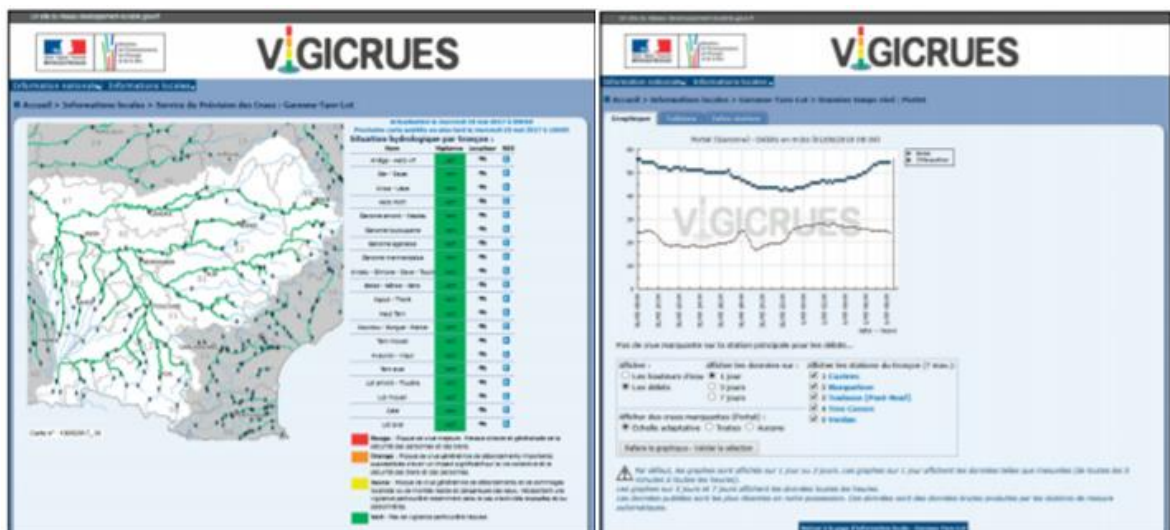


Figura 7: A la derecha, mapa de vigilancia en la cuenca Garonne-Tarn-Lot, a la izquierda diagrama histórico de la evolución del nivel de agua en el río

FUENTE: <https://www.vigicrues.gouv.fr/>

3.2. Presentación del área de estudio: Cuenca del Hers-Mort

La cuenca del Hers-Mort se extiende sobre 1.550 km², lo que representa el 2,8% de la subcuenca de la Garonne y el 1,3% de la cuenca principal de la región Adour-Garonne. La cuenca limita al norte con las laderas del Tarn, al este con la Montagne Noire, al sur con las laderas del Razès y al oeste con el Garona. Intercepta principalmente con la región natural del Lauragais (SAGE Hers-Mort – Girou mayo de 2018).

Con respecto a los relieve y pendientes, la cuenca presenta grandes colinas cuyas altitudes varían entre 200 y 300 metros, se caracteriza por fuertes pendientes ya que aproximadamente 2/3 del territorio tiene pendientes superiores al 5%. La llanura de Hers-Mort se distingue por su anchura, que alcanza aproximadamente 1,5 km a la derecha de Baziège, hasta aproximadamente 1745, toda la superficie era pantanosa, mientras que el curso de agua vagaba en medio de los pantanos cambiando frecuentemente el lecho principal. A partir de 1745, el desarrollo y el represamiento progresivo del cauce menor del Hers-Mort fueron acompañados de la regularización y el represamiento de los cauces de sus afluentes (Guide communal de coordination en cas d'inondation par l'Hers Mort et ses affluents - Marie de Toulouse, juin 2018)

El Hers-Mort es un afluente de la margen derecha del Garona, que nace en Laurac, cerca de Castelnaudary (Aude), y que se une al Garona en Castelnaud-d'Estrétefonds tras un recorrido de 90 km. Su principal afluente, el Girou (65 km), nace en Puylaurens, en el Tarn, y confluye con el Hers-Mort en Saint-Sauveur (SAGE Hers-Mort – Girou, mayo de 2018).

El régimen hidrológico es un régimen pluvial típico del suroeste con un período de crecida en invierno y primavera (diciembre a mayo) y un período de estiaje en verano (julio a noviembre).

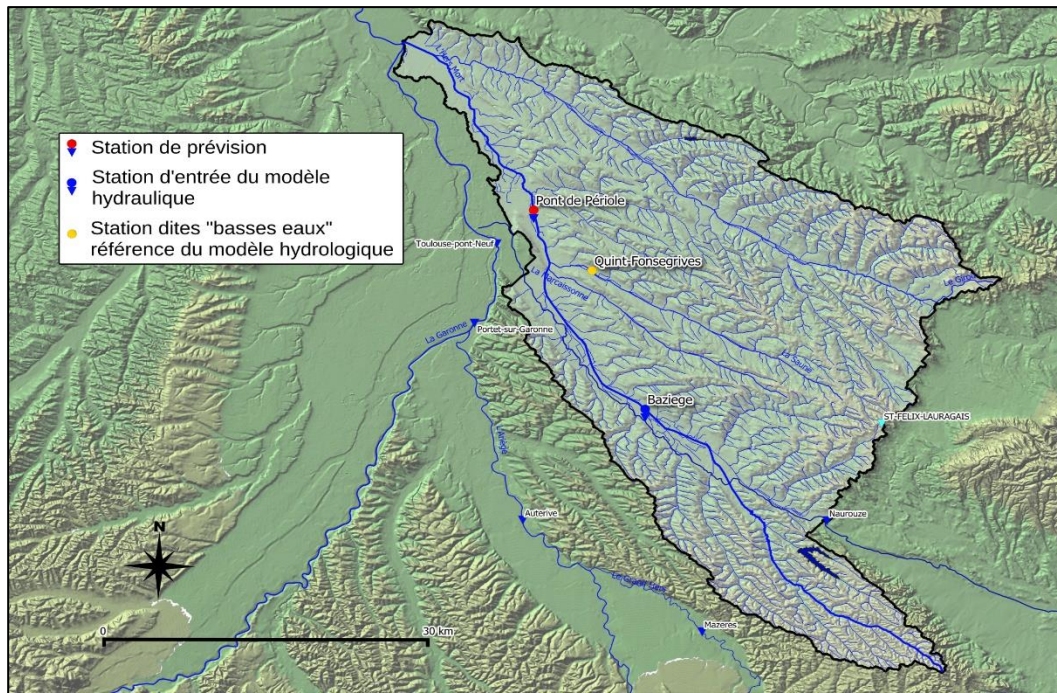


Figura 8: Cuenca del Hers-Mort y la red hidrológica

FUENTE: Routhe (2020)

Para este estudio se utilizan tres estaciones hidrométricas aforadas (figura 8): del Hers en Baziege (450 km²), el Hers en Pont-de-Période (785 km²) y la Saune en Quint-Fonsegrives (106 km²).

3.3. Aplicación del modelo hidrológico espacial

Un modelo hidrológico permite transformar una o más entradas meteorológicas (lluvia, evapotranspiración, etc.) en salidas hidrométricas (caudal, altura del agua). Se trata de una reconstrucción, más o menos cercana a la realidad física según el nivel de complejidad del modelo y las hipótesis mantenidas, de los procesos de génesis y propagación de las inundaciones (Ambroise, 1998). En la literatura se han propuesto clasificaciones de modelos, basadas en varios criterios (ver, por ejemplo: Ambroise, 1998; Kampf y Burges, 2007). Los modelos se distinguen según su grado de abstracción, su representación de la cuenca o incluso según la representación temporal de los fenómenos.

En el caso del modelo SCS-LR de la plataforma ATHYS, que se utiliza en la plataforma PLATHYNES para este estudio, se trata de una versión distribuida, basada en una discretización de la cuenca en mallas cuadradas regulares (Bouvier *et al.*, 2004; Marchandise, 2007).

Los parámetros del modelo se promedian a escala de cuenca, pero los datos de lluvia se distribuyen a escala de cada celda de la cuadrícula. Esta estrategia proporciona una modelización satisfactoria en el caso de inundaciones cinéticas rápidas, según los resultados mencionados por los autores.

La plataforma PLATHYNES reúne hoy tres modelos: el modelo SCS-LR (Marchandise, 2007), el modelo ALHTAIR (Ayrat, 2005) y el modelo MARINE (Roux et al., 2011). Estos modelos se diferencian por diferentes funciones de producción y transferencia. Por tanto, las ecuaciones utilizadas son más o menos complejas y reflejan una conceptualización diferente de los procesos hidrológicos. En este estudio no se utilizó el modelo ALHTAIR. El módulo de transferencia del modelo MARINE, la onda cinemática, fue probado durante el proyecto, pero los resultados no serán presentados en este informe. En esta disertación solo se discutirán los resultados relacionados con el modelo SCS/LR.

3.4. Constitución y procesamiento del conjunto de datos para la modelización

Para este estudio se recopilieron cinco tipos de datos de entrada:

- Datos de altura del agua en un intervalo de tiempo de 1/4 de hora en las tres estaciones de estudio;
- Datos de precipitación horaria: se trata de matrices (1 km²) de precipitación del sistema ANTILOPE de METEO FRANCE (Tabary *et al.*, 2013);
- Datos de humedad del suelo: el índice HU2 de la cadena SAFRAN-ISBA-MODCOU de METEO FRANCE (Marchandise y Viel, 2008)
- Modelos digitales del terreno a 25 m desde la base de datos IGN TOPO/ALTI.
- Curvas de calificación en las 3 estaciones, establecidas a partir de los aforos disponibles.

Se logró constituir una muestra de 15 crecidas e inundaciones entre 2009 y 2020. Las principales características de estas inundaciones se detallan en la Tabla 1.

Los datos espaciales (Modelo Digital del Terreno, Matrices Radar de Lluvia) han sido procesados para ponerlos en el formato correcto, en el sistema de coordenadas correcto y en las unidades correctas para el modelo. Para este propósito se utilizaron las funciones del

menú QGIS Ráster.

Cabe señalar que fue necesario establecer la parte superior de la curva de calificación de Baziège: para ello se utilizó una extrapolación basada en la aproximación de Manning-Strickler.

Una vez obtenida los datos de precipitación, caudal y DEM para cada estación; Realizaremos modelamiento hidrológico con la plataforma PLATHYNES.

3.5. Elección y descripción del modelo hidrológico utilizado

PLATHYNES es una plataforma que reúne tres modelos lluvia/caudal de tipos distribuidos y de eventos. Esta herramienta es desarrollada por SCHAPI y IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse). Se trata de una interfaz que facilita la utilización de los códigos de cálculo de los tres modelos en cuestión: SCS-LR, ALHTAIR y MARINE. Estos modelos fueron desarrollados específicamente para modelar inundaciones repentinas. Han sido ampliamente probados en cuencas hidrográficas alrededor del Mediterráneo (Bildstein, 2018)

Las variables de entrada se utilizan para describir la cuenca, tales como, por ejemplo, la humedad del suelo, la topografía con un modelo numérico del terreno y algunas propiedades del suelo también se pueden utilizar.

- El modelo SCS-LR es conceptual, los procesos son modelados por tanques. La función de producción es el SCS con drenaje. Modela la evolución del coeficiente de escorrentía en función de la acumulación de lluvia. El modelo SCS se describe mediante tres parámetros: la capacidad máxima de infiltración del suelo S (en mm), el coeficiente de limpieza del suelo d_s (en d-1) y el coeficiente de escurrimiento retardado w (Bildstein, 2018).
- La función de transferencia es Lag and Route (LR), que calcula cuánto tiempo tarda la lluvia efectiva en recorrer la distancia entre el píxel y la salida. Los parámetros asociados con el modelo LR son la velocidad de transferencia V_0 (en m/s) y el

coeficiente de difusión K_0 que afecta a la dispersión de la precipitación efectiva durante la transferencia.

- El modelo MARINE tiene una base física. Este modelo ha sido optimizado para cuencas con pendientes superiores al 0,1% y para eventos con un caudal pico específico superior a $0,1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (H. Roux). La evolución de la infiltración y la escorrentía, correspondiente a la función de producción, se tiene en cuenta primero con el modelo Green y Ampt. Este modelo tiene como parámetros la conductividad hidráulica a la saturación K_{ga} (en mm/h) y la fuerza de succión S_f (en mm), que son funciones de la clase de suelo.

Luego hay dos modelos de transferencia: uno para escurrimientos superficiales y otro para escurrimientos subterráneos.

- La transferencia superficial está asociada con el modelo de onda cinemática. El tipo de onda cinemática es diferente si el píxel está en la pendiente o en la red de drenaje. La onda cinemática es simple para la pendiente, se debe informar un solo parámetro: el coeficiente de Manning (en $\text{s}/\text{m}^{1/3}$). Mientras que el modelo de onda cinemática es del tipo triangular a lecho compuesto para la red de drenaje. A continuación, es necesario informar: los coeficientes de Strickler (en $\text{m}^{1/3}/\text{s}$) para el lecho menor K_{s1} y el lecho mayor K_{s2} , el ancho del lecho w_1 (en m), la profundidad del lecho D_1 (en m), así como la pendiente de los bancos I_2 (en m/m).

La transferencia subsuperficial está representada por la ley de Darcy con los parámetros de transmisividad K_{ss} (en mm/h), el decaimiento de la transmisividad M_{ss} (sin unidad) y la pendiente de exfiltración I_{ss} (en m/m) (Bildstein, 2018).

3.5.1. Utilización de la plataforma PLATHYNES

El estudio se llevó a cabo con la versión más avanzada de PLATHYNES V 1.9.3. Esta versión contiene, entre otras cosas, la opción de caudal básico, por lo que los hidrogramas simulados no comienzan en caudal nulo, sino en el caudal observado.

El primer paso es crear la plantilla. El Modelo Digital del Terreno (MDT) y definir la ubicación de las estaciones hidrométricas (Baziège en el río Hers Mort y Quint Fonsegrives en el río Saune). El MDT utilizado en este estudio proviene de la base de datos ALTI de IGN. Su resolución inicial es de 50 m. También es necesario indicar la resolución deseada (el tamaño de píxel, para nuestro caso es de 25 x 25) para el modelo, con el fin de discretizar la cuenca.

Las diferentes configuraciones se realizaron todas con precipitaciones procedentes de pluviómetros, los datos de precipitación de cada evento, que se utilizaron, son los que se recuperaron del radar de antílopes en formato ASCII, a la resolución de 1 km desarrollada en tiempo real (Bildstein, 2018).

3.5.2. Metodología de la calibración con la plataforma PLATHYNES

El objetivo de la calibración es encontrar el conjunto óptimo de parámetros para que el modelo simule a partir de las lluvias precipitadas los caudales más cercanos a los observados. Los parámetros para calibrar varían según el modelo y la metodología de calibración también cambia con los modelos.

Para un modelo SCS-LR, la calibración se lleva a cabo en varias etapas (metodología propuesta por A. Marchandise, SPC GTL, 2018). Primero calibrar el parámetro V_0 para que la crecida del caudal observado y simulado esté bien representada. Luego, depende del parámetro S , ajustar evento por evento para que el primer pico de inundación esté mejor representado. Finalmente, d_s y W se determinan utilizando la calibración en todos los eventos de múltiples picos para ajustar mejor el segundo pico y la disminución de la crecida.

Para un modelo MARINE, los parámetros son mucho más numerosos (Inyección de caudal). Generalmente se definen de acuerdo con las propiedades del suelo, la cobertura del suelo o la geomorfología. La calibración se lleva a cabo sobre cinco parámetros aún por determinar: K_{s1} , K_{s2} , Z_{sol} , K_{ga} y K_{ss} (IMFT, n.d.; Roux *et al.*, 2011). La búsqueda del mejor conjunto de parámetros se realiza directamente con una calibración en todos los eventos. Es importante apuntar a los rangos de valores que cada parámetro puede tomar para que la calibración sea más eficiente.

3.5.3. Características de los parámetros calibrados

- S: Capacidad máxima de infiltración potencial del suelo con agua: $10 < S < 500$ mm, parámetro a calibrar para cada evento y vinculado a un indicador de humedad inicial
- W: Coeficiente de recuperación de drenaje ($0 < w < 1$), juega con el volumen de la inundación, toma por defecto un valor entre 0.05 y 0.3
- ds: Coeficiente de recuperación de drenaje (d-1), Controla la intensidad de picos sucesivos normalmente entre 0,2 y 2
- V0: velocidad de malla (asumido uniforme en esta configuración), generalmente entre 0,4 y 4 m/s, juega con el momento del pico de inundación, pero también en su intensidad
- K0: El coeficiente de difusión, valor establecido en 0,7, juega con la propagación de la disminución, pero también sobre la intensidad del pico de inundación (Marchandise; SPC GTL- Formación PLATHYNES, 2018)

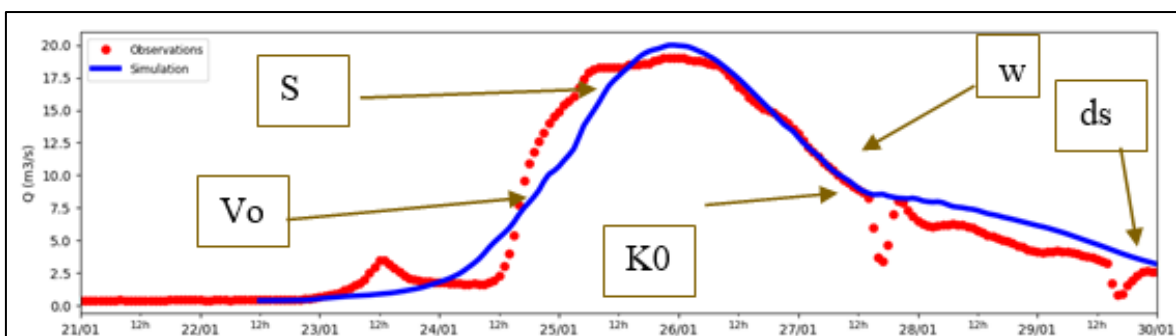


Figura 9: Representación gráfica de la influencia de los parámetros sobre los hidrogramas simulados en PLATHYNES, calibrada para cada evento

FUENTE: Bouvier *et al.* (2004), Marchandise (2007)

- Hu2: Parámetro humedad del suelo de METEO FRANCE

El parámetro HU2 SIM representa la humedad del suelo obtenida mediante una simulación meteorológica, calculada diariamente a las 06:00 a.m. Este valor se calcula en los laboratorios de Météo-France, considerando diversos parámetros meteorológicos como datos de entrada. Este valor es crucial para los prevencionistas hidrológicos, estas mediciones de humedad proporcionan información esencial para prever la reacción de una cuenca ante las lluvias. En nuestro proyecto, hemos incorporado estos valores para realizar una regresión lineal con el valor de S (capacidad máxima de infiltración) y hemos explorado si existe alguna relación entre ambos parámetros. Finalmente, esto se refleja visualmente en los resultados de los hidrogramas simulados y en el valor de NASH, este valor puede ser tomado como referencia del estado de la humedad del suelo antes y después de un fenómeno meteorológico.

Marchandise y Viel, 2008. La cadena SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM) de METEO FRANCE ha sido objeto de numerosas investigaciones en los últimos quince años, Desde 2003, este modelo ha sido implementado en el entorno operativo de Météo-France y se ha enriquecido gradualmente con una climatología extensa. Su uso operativo abarca actualmente áreas como el monitoreo de los recursos hídricos, la predicción de inundaciones y la identificación de sequías. Además, se revela como una herramienta particularmente adecuada para estudios de impacto del cambio climático en el ciclo del agua.

3.5.4. Método de evaluación del modelo

La simple observación de los hidrogramas simulados por sí sola no nos permite concluir si el modelo es satisfactorio o no. Es necesario contar con criterios de evaluación objetivos y fiables. Así, se han utilizado criterios de rendimiento conocidos en el campo de la hidrología como NASH (Nash y Sutcliffe, 1970) y persistencia (Kitanidis y Bras, 1980). Otros criterios, como los errores de caudal máximo y el retraso temporal de la predicción de picos frente a la observación, también revelaron la relevancia de los modelos en situaciones operacionales.

3.5.5. Principio de calibración/control

La muestra de eventos se divide en dos grupos: eventos que se utilizan para la calibración y los que se utilizan para la validación. Esto permite evaluar el rendimiento del modelo cuando se aplica en condiciones diferentes a las de la calibración.

Un grupo de eventos con desbordamientos, clasificados bajo vigilancia amarilla y naranja. Por otro lado, el grupo sin desbordamientos en vigilancia verde, son 15 eventos simulados de 2009 a 2020.

En el caso de la estación Quint Fonsegrives, los eventos con caudales inferiores a $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (8 eventos) se clasifican como eventos no desbordantes, y el otro grupo con caudales superiores a $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (7 eventos) son eventos con monitoreo clasificados como amarillo o naranja.

En el caso de la estación de Baziège, el criterio de separación de eventos con desbordamiento con caudales superiores a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (7 eventos), y sin desbordamiento, con caudales inferiores a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (8 eventos), esto ayudará a una calibración más conveniente, obteniendo así parámetros uniformes para cada tipo de evento.

3.5.6. Criterios de performance de la calibración y validación

En este proyecto, optamos por evaluar los modelos a partir del coeficiente de eficiencia de NASH calculado en todo el hidrograma, también se consideraron los errores en el valor máximo del pico.

- El criterio de Nash varía entre $-\infty$ y 1. Permite comparar el error cuadrático de los errores del modelo hidrológico con la varianza de los caudales observados. Si el Nash tiende hacia 1, entonces el modelo hidrológico está cerca de los valores observados. Si el Nash es cero, significa que no es mejor que el promedio de los valores observados. Si es negativo, el modelo es peor que el promedio de los valores observados.
- Error de pico de inundación: El error de pico de inundación es la diferencia entre el modelo Q_{\max} y el Q_{\max} observado. Este error se expresa en m^3/s , pero también puede expresarse relativamente en %: Una desviación del 30% en los picos de inundación se considera aceptable para el modelado de lluvia - esorrentía Mahmoud y Benayada, 2010)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta los principales resultados obtenidos al final de la calibración del modelo hidrológico, primero en Quint-Fonsegrives y luego en Baziège. El rendimiento se evalúa de 2 maneras:

- En una configuración óptima donde el parámetro S se ha optimizado evento por evento: esto corresponde a una operación idealizada del modelo en la que el modelo conoce de antemano el valor óptimo del parámetro para tener en cuenta;
- En una configuración operativa en la que el valor del parámetro S se deriva de la regresión

En un tercer paso, se evalúa la pérdida de rendimiento entre estas dos configuraciones, particularmente en la representación de los caudales máximos de inundación.

4.1. Resultados de la calibración en la estación de Quint Fonsegrives

La Tabla 1 detalla los valores de los mejores parámetros calibrados para todos los eventos menores siguiendo la metodología detallada en 3.5.2. Un evento menor se define como eventos no desbordados para los cuales el caudal máximo es inferior a $12 \text{ m}^3/\text{s}$. El criterio NASH es 0.59, en promedio sobre los eventos. El valor más bajo del criterio NASH (0.05), ocurre en uno de los eventos más secos de la crónica. Este punto se discutirá de nuevo más adelante

En estos eventos no desbordados, el rendimiento del modelo es, por lo tanto, medianamente bueno. Esto se explica por una mayor incertidumbre a los errores absolutos de los datos de entrada del modelo (2 mm de error en una precipitación de 10 mm representa un error mayor que en una precipitación de 40 mm), así como a los procesos preponderantes involucrados durante inundaciones menores que no están en adecuación con la conceptualización del modelo.

Tabla 1: Resultados de la calibración con PLATHYNES para eventos inferiores a 12 m³/s

Calibración es la estación Quint Fonsegrives					
Eventos con Qp < 12 m³/s	S	Ds	W	NASH	HU2 BRUT
2009_04_27	39	0,86	0,13	0,82	73
2013_01_20	83	0,86	0,13	0,93	75
2013_02_12	20	0,86	0,13	0,87	82
2015_04_28	57	0,86	0,13	0,48	69
2018_04_09	27	0,86	0,13	0,29	73
2018_05_28	82	0	0	0,05	70

Tabla 2: Resultados de la calibración con SCS/LR para eventos superiores a 12 m³/s

Calibración es la estación Quint Fonsegrives						
Eventos con Qp > 12m³/s	Vo	S	Ds	W	NASH	HU2 BRUT
2009_01_23_sd	0,5	38	0,21	0,57	0,93	76
2013_05_31_sd	0,5	100	0,21	0,57	0,72	71
2014_01_25_sd	0,5	52	0,21	0,57	0,64	78
2015_02_27_sd	0,5	6	0,21	0,57	0,85	77
2018_06_06_sd	0,5	97	0,21	0,57	0,71	73
2019_12_14_sd	0,5	62	0,21	0,57	0,87	77
2020_01_23_sd	0,5	54	0,21	0,57	0,88	75

Tabla 2, se evalúa la calibración del modelo en las inundaciones desbordantes. En esta tabla, podemos ver que los valores de NASH son más homogéneos. El valor promedio de NASH también es más alto (NASH 0.8) y ninguna inundación está mal representada por el modelo. Los valores óptimos retenidos para los parámetros calibrados en todos los eventos son: Ds (0,21), W (0,57) y V0 (0,5).

Esta calibración individual del parámetro S se utilizará para calibrar la función de regresión entre S y HU2 (figura 10)

La Figura 10 y tabla 3 representan la regresión obtenida y los valores de los parámetros S obtenidos de esta regresión

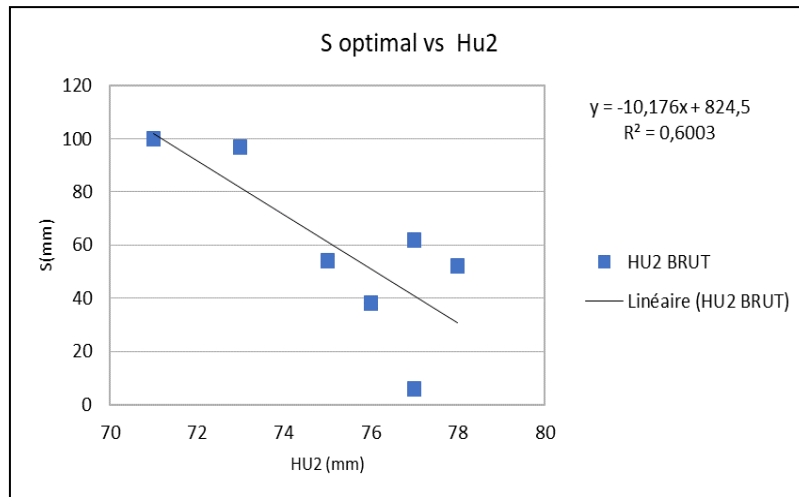


Figura 10: Regresión lineal, entre S óptimo calibrado en eventos mayores a 12 m³/s

El resultado de esta regresión es $R^2 = 0.6$, una vez obtenida esta función, se utilizó en PLATHYNES, para obtener los hidrogramas simulados; con el valor de regresión de S.

Como se puede ver en la tabla 3, después de usar la función de regresión en PLATHYNES se asigna el valor NASH; disminuyendo el valor promedio de 0.81 a 0.46, también disminuyendo el rendimiento del modelado.

Tabla 3: Resultado NASH, después de la calibración con regresión S/HU2

	Vo	S régress	Ds	W	Nash Hu2	HU2 BRUT
2009_01_23_sd	0,5	50,32	0,21	0,57	0,69	76
2013_05_31_sd	0,5	101,22	0,21	0,57	0,72	71
2014_01_25_sd	0,5	29,96	0,21	0,57	0,55	78
2015_02_27_sd	0,5	40,14	0,21	0,57	-1,02	77
2018_06_06_sd	0,5	80,86	0,21	0,57	0,77	73
2019_12_14_sd	0,5	40,14	0,21	0,57	0,82	77
2020_01_23_sd	0,5	60,5	0,21	0,57	0,71	75

4.1.1. Comparación de caudales máximos, con S óptima y S de regresión de PLATHYNES

Resultados aplicando S óptimo: Quint Fonsegrives

Tabla 4: Caudales máximos con S óptimo

DATE	Qobs max	Qsim max
24/01/2009 01:00:00	14,8	15,075
01/06/2013 05:00:00	18	18,431
25/01/2014 23:00:00	19	19,999
27/02/2015 08:00:00	13	12,677
05/06/2018 23:00:00	13,8	14,445
14/12/2019 12:00 :00	14,6	14,939
24/01/2020 00:00 :00	16,2	17,814

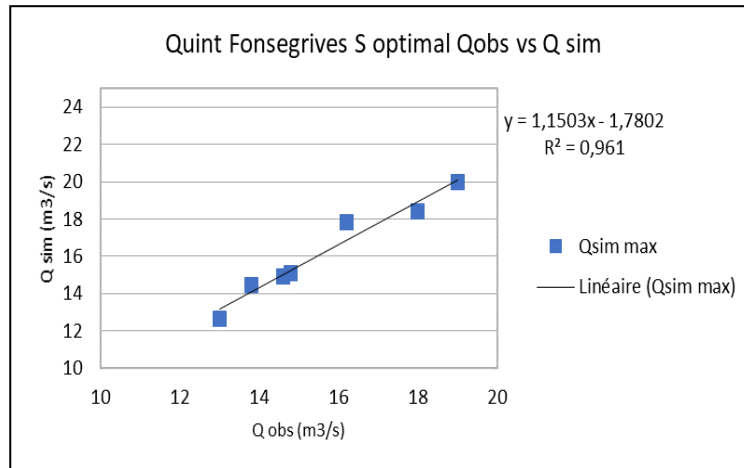


Figura 11: Regresión lineal entre Qobs y Qsim

En la Tabla 4, vemos que el caudal máximo simulado es de 19,9 m³/s en el caso del 25/01/2014 y el mínimo es de 12,67 m³/s en el caso del 27/02/2015, ambos resultados están muy cerca de los valores de caudales observados, y en la Figura 6 de regresión, observamos que tiene una buena correlación con R²= 0,96, esto indica un buen rendimiento de modelado con la S óptima.

Resultados aplicando S (regresión): Quint Fonsegrives

Tabla 5: Caudales máximos con regresión S

DATE	Qobs max	Qsim max
23/01/2009 23:00:00	14,8	12,352
31/05/2013 14:00:00	18	18,209
25/01/2014 07:00:00	19	27,049
27/02/2015 18:00:00	13	5,295
05/06/2018 21:00:00	13,8	17,948
14/12/2019 02:00:00	14,6	19,155
23/01/2020 23:00:00	16,2	14,835

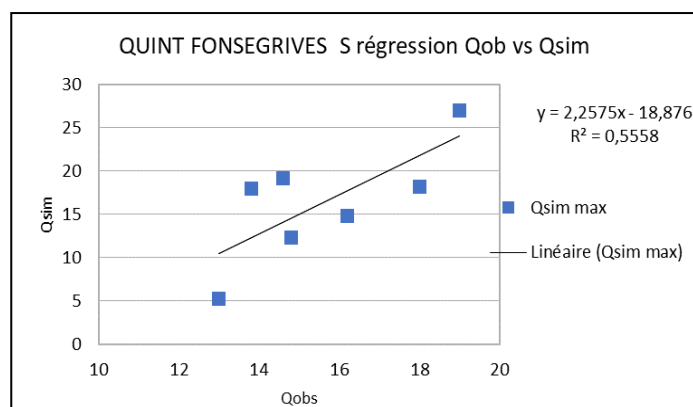


Figura 12: Regresión lineal entre Qobs y Qsim

En la tabla, vemos que el caudal máximo simulado es de 27,04 m³/s en el caso de 25/01/2014 y el mínimo es de 5,295 m³/s en el caso de 27/02/2015 ambos resultados se desviaron de los caudales observados, y en la Figura 7 de regresión, En el caso de R², vemos que también disminuyó de 0,96 a 0,55, esto hace que nuestro modelado disminuya su rendimiento.

En cuanto al error del pico de inundación, los resultados con la S óptima, tenemos un error del 3% en promedio en cada evento, pero con la regresión S, tenemos valores muy variables, que van del 16% al 42% de variación, siendo el evento del 27/02/2015 el que presenta una fuerte variación o error de pico de inundación.

4.2. Resultados de calibración en la estación de Baziège:

Tabla 6: Resultados de la calibración con PLATHYNES para eventos de menos de 30 m³/s

Menos de 30m ³ /s	Calibración					
	Eventos verdes	V ₀	S	D _s	W	NASH
2009_04_27	0,70	64	0,63	0,05	0,94	74
2013_01_20	0,60	81	0,63	0,05	0,89	76
2013_02_12	0,70	38	0,63	0,05	0,85	82
2015_04_28	0,70	73	0,63	0,05	0,90	77
2018_04_09	0,70	63	0,63	0,05	0,83	74
2018_05_28	0,70	88	0,63	0,05	0,88	70
2019_12_14	0,65	68	0,63	0,05	0,82	78

En la Tabla 6, podemos ver los valores de los mejores parámetros calibrados para cada evento D_s (0.63) y W (0.05), con un valor promedio de Nash 0.87, es el producto del óptimo S. Esta tabla representa todos los eventos clasificados en verde con un valor de caudal inferior a 30 m³/s, V₀ varía entre 0,6 m/s y 0,7 m/s y S con un valor medio de 68 mm

Tabla 7: Resultados de calibración con PLATHYNES para eventos mayores que 30 m³/s

Superiores a 30 m ³ /s	Calibración					
	Eventos en amarillo	V ₀	S	D _s	W	NASH
2009_01_23_sd	0,50	62	0,29	0,15	0,60	76
2013_05_31_sd	0,60	80	0,29	0,15	0,91	71
2013_11_19_sd	0,60	64	0,29	0,15	0,62	72
2014_01_25_sd	0,50	79	0,29	0,15	0,86	78
2015_02_27_sd	0,50	31	0,29	0,15	0,84	77
2018_06_06_sd	0,70	75	0,29	0,15	0,51	73
2018_07_16_sd	0,60	148	0,29	0,15	0,54	65
2020_01_23_sd	0,60	80	0,29	0,15	0,65	75

En la Tabla 7, podemos ver que los valores de NASH son menos homogéneos y, por lo tanto, un valor promedio de NASH de 0.71, pero no tiene un valor raro. Podemos ver los valores de los mejores parámetros calibrados para cada evento D_s (0.29), W (0.15) y V₀ varía entre 0.5 m/s y 0.7 m/s. Esta calibración de eventos se utilizará para realizar la función de regresión entre S/HU2, obteniendo así los valores máximos de caudales simulados con regresión óptima S y S.

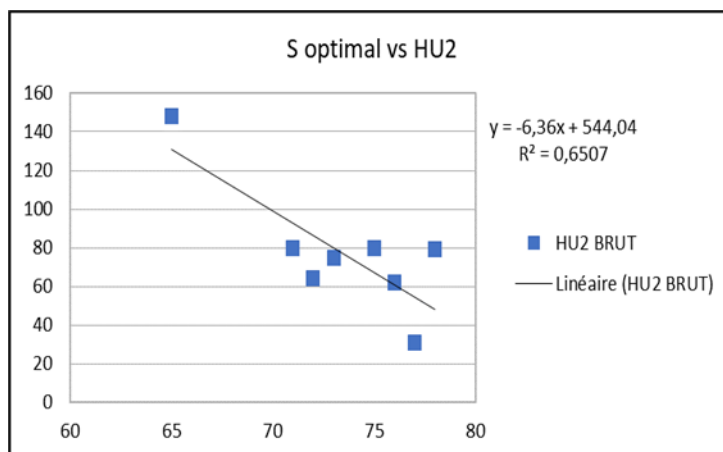


Figura 13: Regresión lineal, entre s óptimo y S calibrado en eventos mayores a 30 m³/s

El resultado de esta regresión es $R^2 = 0.65$, una vez obtenida esta función, se pasó a PLATHYNES, para obtener los hidrogramas simulados; con el nuevo valor S de regresión.

Tabla 8: Resultado de NASH, después de la calibración con regresión S/HU2

Eventos en amarillo	Vo	S régress	Ds	W	NASH	HU2 BRUT
2009_01_23_sd	0,55	60,64	0,29	0,15	0,51	76
2013_05_31_sd	0,55	92,44	0,29	0,15	0,81	71
2013_11_19_sd	0,55	86,08	0,29	0,15	0,06	72
2014_01_25_sd	0,55	47,92	0,29	0,15	0,54	78
2015_02_27_sd	0,55	54,28	0,29	0,15	-1,6	77
2018_06_06_sd	0,55	79,72	0,29	0,15	0,07	73
2018_07_16_sd	0,55	130,6	0,29	0,15	0,32	65
2020_01_23_sd	0,55	67	0,29	0,15	0,31	75

En la Tabla 8, después de usar la función de regresión en PLATHYNES se asigna el valor de NASH; Disminución del valor promedio de 0.71 a 0.13, también disminuyendo el rendimiento del modelado

4.2.1. Comparación de caudales máximos, con S óptimo y S de la función de regresión del PLATHYNES en Baziège

Resultados aplicando S óptimo: Baziège

Tabla 9: Caudales máximos con S optimo

DATE	Qobs max	Qsim. max
23/01/2009 19:00:00	45,5	45,761
31/05/2013 15:00:00	53,2	54,51
19/11/2013 18:00:00	37,1	38,337
25/01/2014 14:00:00	58,4	62,743
27/02/2015 12:00:00	34,7	35,389
06/06/2018 04:00:00	46,6	47,384
16/07/2018 20:00:00	61	56,75
23/01/2020 20:00:00	57,1	66,63

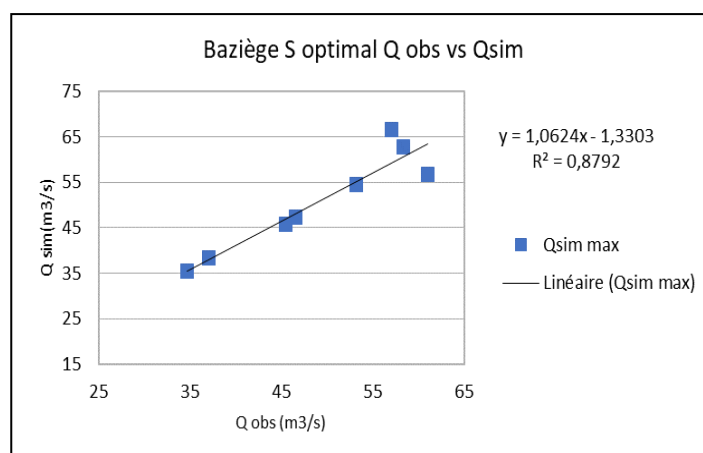


Figura 14: Regresión lineal entre Qobs y Qsim

En la Tabla 9, vemos que el caudal máximo simulado es de 62,7 m³/s en el caso del 25/01/2014 y el mínimo es de 38,3 m³/s en el caso del 19/11/2013, ambos resultados están muy cerca de los valores de caudales observados, y en la Figura 9 de regresión, el caso de $R^2 = 0,87$, esto indica un buen desempeño del modelado con la S óptima.

Resultados aplicando S regresión: Baziège

Tabla 10: Caudales máximos con S regresión

DATE	Qobs max	Qsim max
24/01/2009 00:00:00	45,5	39,1
31/05/2013 15:00:00	53,2	41,7
19/11/2013 22:00:00	37,1	21,22
25/01/2014 16:00:00	58,4	75,8
27/02/2015 16:00:00	34,7	21,6
06/06/2018 09:00:00	46,6	38,6
20/07/2018 18:00:00	61	69,5
24/01/2020 00:00:00	57,1	62,4

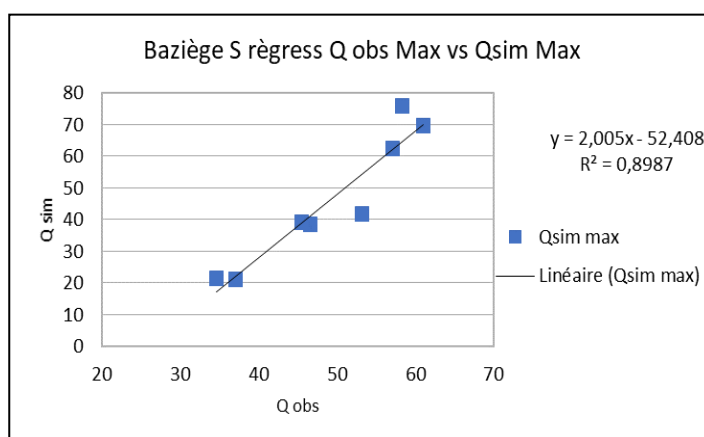


Figura 15: Regresión lineal entre Qobs y Qsim

En la Tabla 10, vemos que el caudal máximo simulado es de 75,8 m³/s en el caso del 25/01/2014 y el mínimo es de 21,22 m³/s en el caso del 27/02/2015, ambos resultados divergieron de los caudales observados, y en la Figura 15 de regresión, el caso de R², vemos que también aumentó de 0,87 a 0,89, como resultado, nuestro modelado ha mejorado su rendimiento.

En cuanto al error del pico de inundación, los resultados con la S óptima, tenemos un error del 3% en promedio en cada evento, pero con la S regresión, tenemos valores muy variables, que van del 14% al 37% de variación, siendo el evento del 27/02/2015 el que presenta una fuerte variación o error de pico de inundación.

4.3. Presentación de hidrogramas simulados

En esta parte del informe, hemos seleccionado algunos hidrogramas representativos que nos han ayudado a procesar y comprender mejor el rendimiento del modelado con la plataforma PLATHYNES, y que representan eventos de inundación de una buena manera.

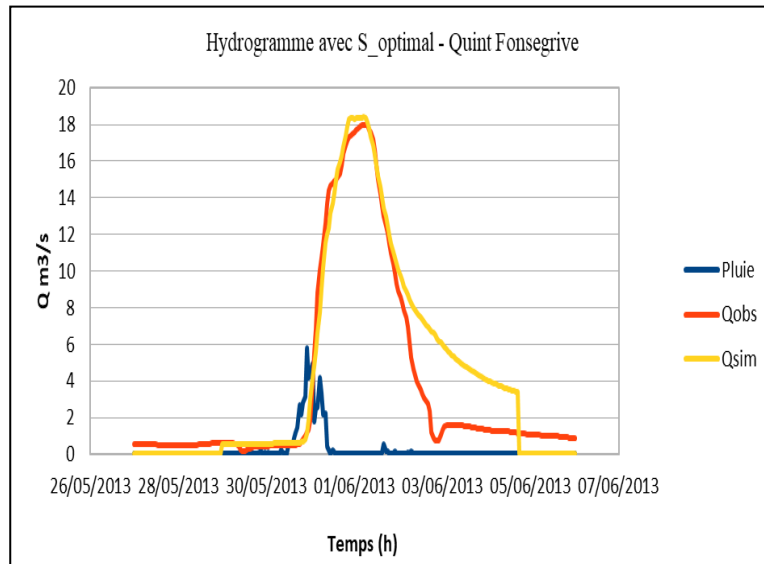


Figura 16: Hidrogramas del 31/05/2013

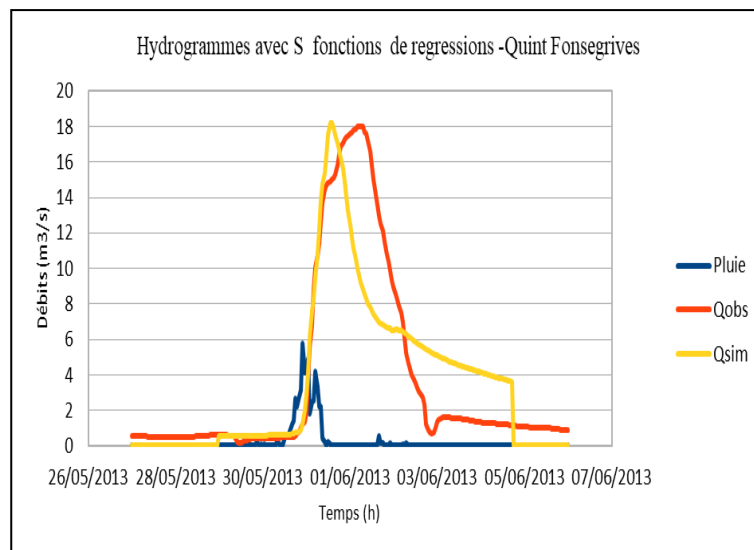


Figura 17: Hidrogramas del 31/05/2013

En estos hidrogramas para el evento del 31/05/2013 en Quint Fonsegrives, se pueden observar los caudales observados y simulados, en la Figura 16, para el óptimo S tiene un buen rendimiento, mientras que para la Figura 17, vemos que después de usar la opción de

función de regresión en PLATHYNES, la curva de inundación pierde algo de rendimiento.

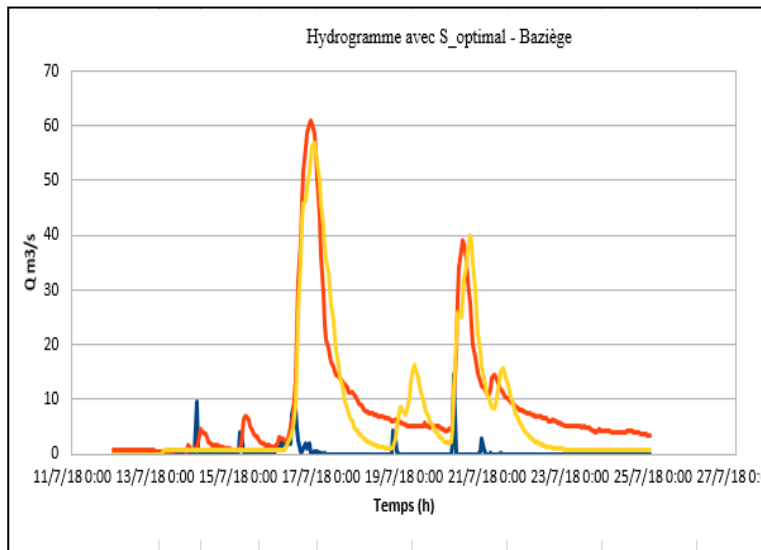


Figura 18: Hidrogramas del 16/07/2018

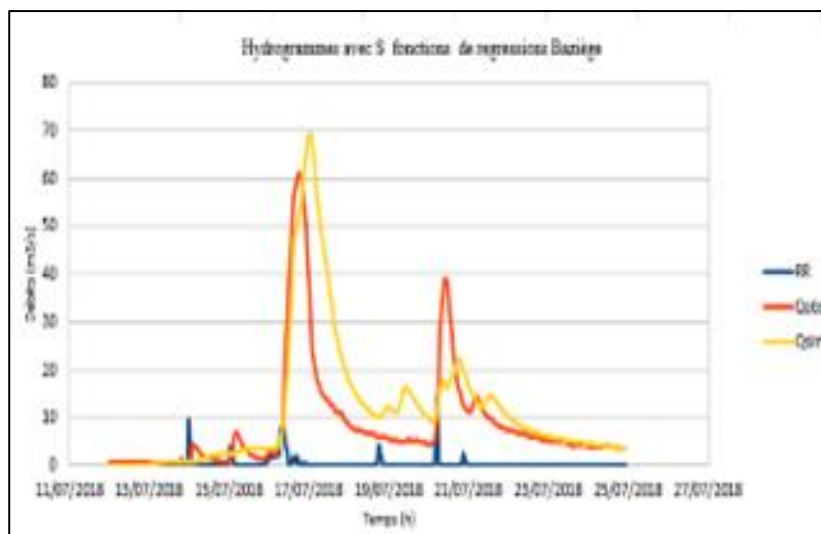


Figura 19: Hidrogramas del 16/07/2018

En estos hidrogramas para el evento del 16/07/2018 en Baziège, en la Figura 18, para S óptimo tiene buen rendimiento, pero para la Figura 19, vemos que después de usar la opción de la función de S regresión en PLATHYNES, la curva de inundación pierde un poco de rendimiento. Estos dos eventos fueron elegidos por su particularidad de reacción en cada cuenca, y esto nos ayudará a hacer un análisis general, en comparación con los otros eventos, todos presentes en el Anexo.

4.4. Modelamiento hidráulico

La estación de Baziège es la estación de entrada del modelo hidráulico. La estación "Toulouse Pont de Périole", en la que se realizarán previsiones de caudal, está a unos 24 km aguas abajo. La longitud total del modelo es aproximadamente 30 km, entre los municipios de Baziège y Launaguet. Los caudales de los principales afluentes, aguas abajo de Baziège, se inyectarán para tener en cuenta la influencia de la cuenca intermedia. Estos caudales se obtendrán, por correlación, desde la estación de "Quint-Fonsegrives".

Otros dos modelos alrededor de las estaciones de Pont de Périole y Baziège se calibrarán para evaluar la curva de calibración de caudales altos, más allá de los primeros desbordamientos.

La calibración del modelo hidráulico se llevará a cabo durante las inundaciones de propagación, es decir, donde la mayoría de la lluvia se concentra aguas arriba de la estación de Baziège y donde la cuenca intermedia tiene poca influencia en el caudal (Ludovic et al., 2020).

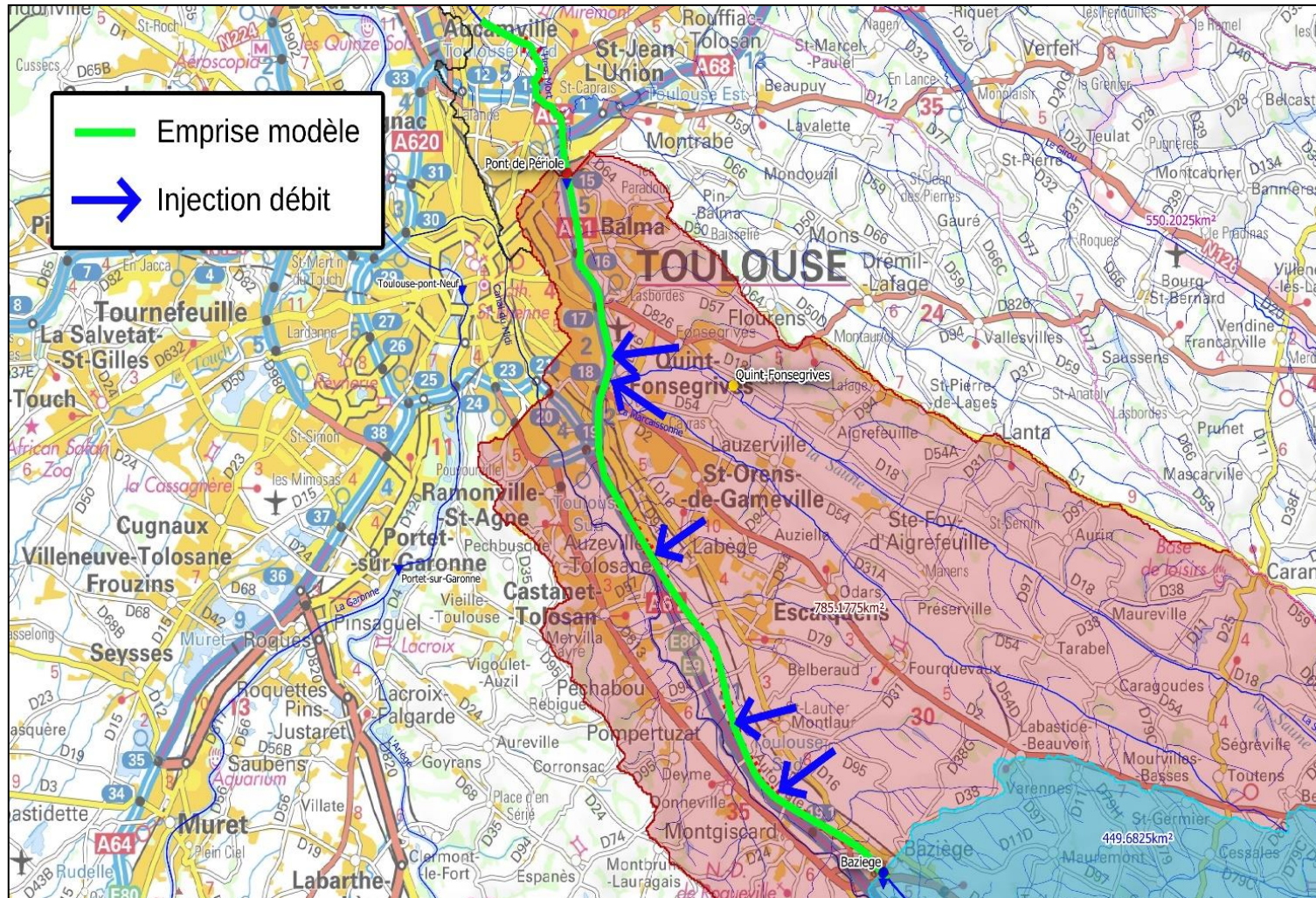


Figura 20: Longitud del modelo hidráulico

FUENTE: Routhe (2020)

4.4.1. Presentación del modelo hidráulico - MASCARET

Desarrollado durante más de 20 años por EDF y CEREMA, MASCARET es un código hidráulico para el modelado unidimensional de caudales de superficie libre, basado en las ecuaciones de Saint-Venant. MASCARET está compuesto por tres núcleos de cálculo hidrodinámico, a los que se puede acoplar el módulo CASIER, y permite realizar cálculos en régimen:

- Transcrítico fluvial y permanente;
- Río no permanente;
- Transcrítico no permanente.

El módulo CASIER permite tener en cuenta las zonas de inundación aisladas del lecho principal por un conjunto de trampas interconectadas y conectadas al río por diferentes leyes de intercambio: umbral, canal, sifón, orificio, válvula-válvula, etc. representando áreas de intercambio y obstáculos naturales para fluir.

MASCARET se utiliza en particular en el estudio de caso de:

- Propagación de inundaciones y modelización de campos de inundación;
- Onda de inmersión resultante de la ruptura de estructuras hidráulicas;
- Regulación de ríos desarrollados;
- Propagación de ondas en los canales (intumescencias, esclusas, embalse).

MASCARET y sus fuentes se pueden descargar gratuitamente, gracias a su integración en QGIS a través de su Plug-in, el código se convierte en un software que permite la construcción y operación de modelos hidráulicos, así como la visualización de los resultados del cálculo.

4.4.2. Construcción del modelo hidráulico

Construir un modelo hidráulico; se necesitan algunos datos importantes, por ejemplo, datos batimétricos y topográficos, en nuestro caso tenemos los datos topográficos de 24 puentes, y un total de 152 perfiles topográficos, que se dibujaron manualmente con la ayuda de QGIS, para dibujar el ancho de cada perfil, se tuvieron en cuenta el Mapa Informativo de Zonas de Inundación (CIZI) de Haute-Garonne, Esta estrategia ayudará a ser lo más precisa posible

en comparación con otros estudios en el mismo campo. Las imágenes LIDAR también están disponibles a lo largo de su recorrido del Hers Mort, ambos datos son importantes, ya que la plataforma toma los perfiles y los datos LIDAR formando un solo perfil con ambos datos.

Condiciones límite: aguas arriba, un caudal impuesto o un hidrograma, los caudales a inyectar serán los caudales medidos en la estación de Baziège en el río Hers Mort. Y aguas abajo la medición de la escala limnómetro en la estación de Pont de Périole, mapas en 1/25000.

4.4.3. Calibración del modelo hidráulico

En la primera etapa dividimos el río en dos secciones, la primera sección será en la parte alta en la estación de Baziège, sobre una longitud de unos 6 km, esto nos lo hacemos para correr el modelo varias veces en estado estacionario, y con diferentes valores de Strickler, en nuestro caso estos valores son típicos para este tipo de cuenca. Comenzaremos con un valor de 20 m^{1/3}/s en el lecho menor y 5 m^{1/3}/s en el lecho más importante.

Este proceso es repetitivo, ya que lo haremos con cada caudal de medición. Una vez obtenida esta curva, siendo la más similar a la curva de calibración, se puede extrapolar con caudales mayores; por ejemplo, con caudales centenales, que se han calculado en varios estudios para este río. Por ejemplo, el Estudio SOGREAH – febrero de 1997 (234 m³/s) y análisis estadístico DREAL alrededor de 200 m³/s.

4.4.4. Resultados de la calibración del modelo hidráulico

En esta parte del informe, obtendremos las curvas generadas a partir de la simulación de estado estacionario, con la variación del coeficiente de Strickler en la parte alta de la cuenca

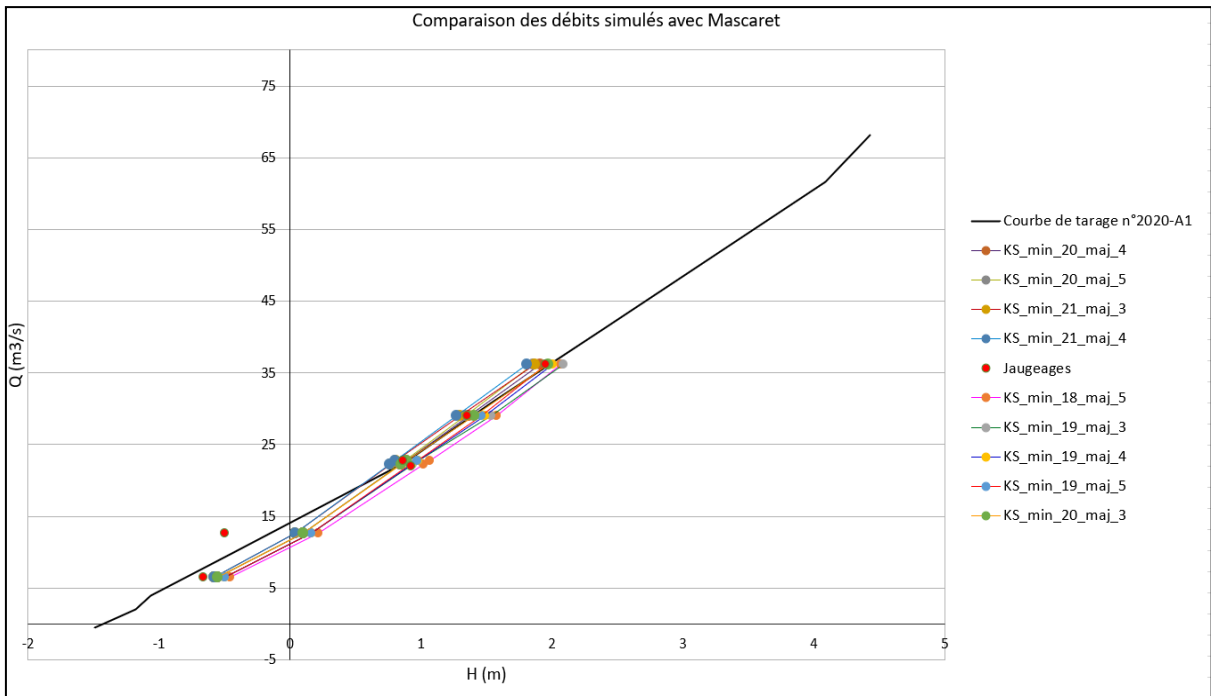


Figura 21: Comparación de caudales simulados con MASCARET

En este gráfico 20, podemos ver el conjunto de líneas alrededor de la curva de calibración y también observar los caudales medidos. Este conjunto de líneas se generó a partir de cada valor diferente entre la lecho mayor y lecho menor. Todas estas tablas de resultados pueden consultarse en el anexo.

Finalmente; El valor más ajustado a la curva de calibración y caudales de calibración es la combinación de $K_s = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ en lecho menor y $K_s = 4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ en lecho mayor, con estos valores fijos, finalmente podemos extrapolar caudales mayores, para ver si hay inundaciones a lo largo del Hers Mort.

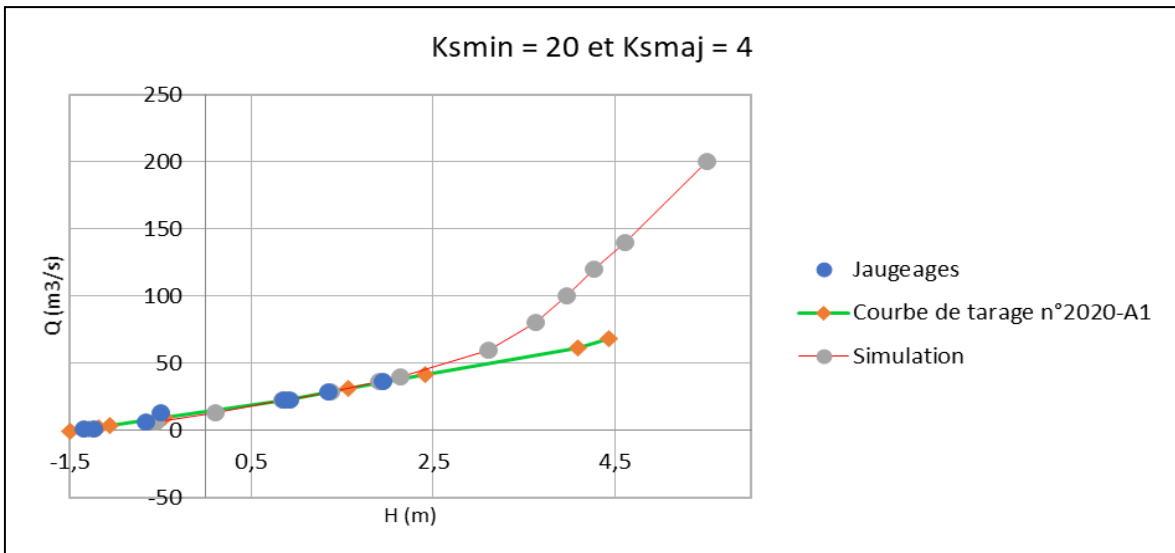


Figura 22: Curva de calibración a partir de modelamiento hidráulico (curva roja), curva de ajuste n°2020 a partir de una regresión en caudales calibrados (curva verde) y los puntos azules representan caudales medidos

Al examinar los perfiles, vemos que comienzan a aparecer inundaciones de caudales superiores a $100 \text{ m}^3/\text{s}$, en los primeros 6 kilómetros, cerca de la estación de Baziège.

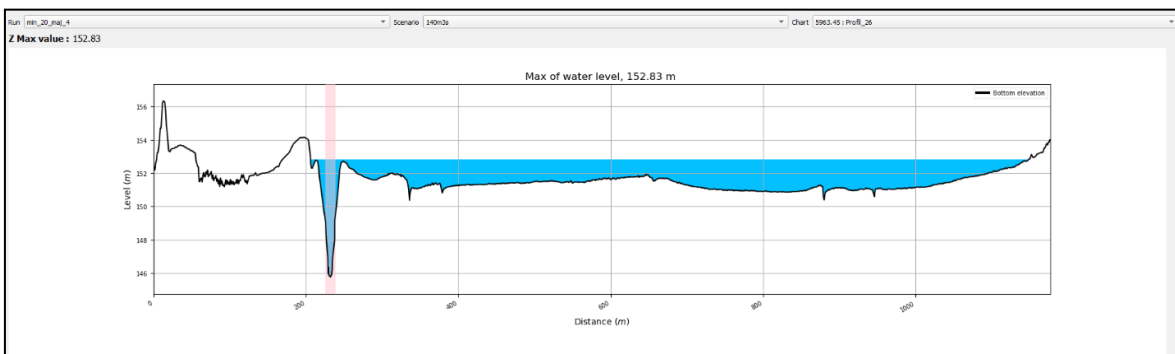


Figura 23: Perfil 23 inundado

Al inyectar un caudal de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, vemos que presenta inundaciones generalizadas a lo largo del Hers Mort, pero, no vemos inundaciones presentes cerca de la ciudad de Toulouse.

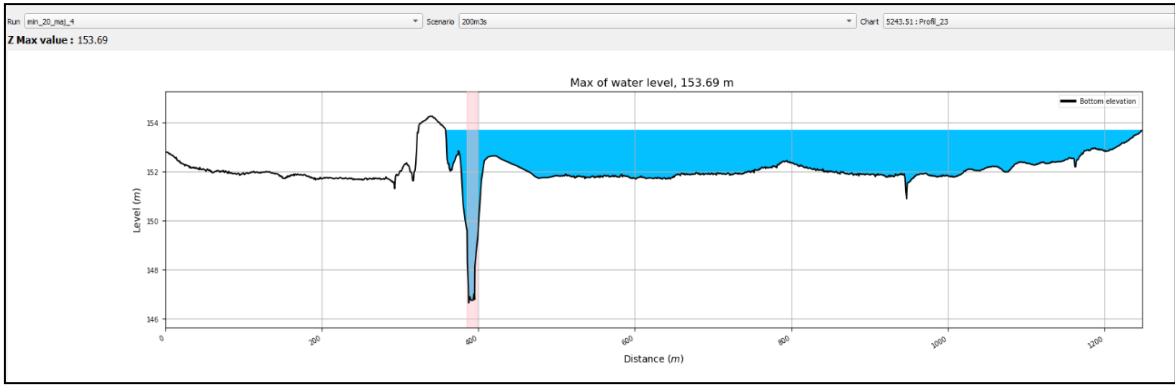


Figura 24: Perfil 51 inundado

V. CONCLUSIONES

Producto de la investigación realizada, se han conseguido los primeros resultados satisfactorios que permitirán desarrollar un modelo hidrológico e hidráulico para para pronóstico de inundaciones de la cuenca Hers-Mort, Toulouse-Francia.

- **Con respecto a la modelización hidrológica:**

En esta parte es importante clasificar y analizar adecuadamente los episodios de inundación, para ello nos ha ayudado mucho poder realizar este catálogo de eventos (ejemplo en anexo), donde podemos apreciar la información necesaria de una manera rápida y práctica, por ejemplo; Hietogramas para cada estación, humedad del suelo un día antes de cada episodio de inundación, una imagen de radar tomada durante el episodio de lluvia acumulada, esto fue muy útil al recuperar los datos.

En cuanto a la plataforma PLATHYNES, es una herramienta práctica, sencilla y fácil de usar para poder trabajar, nos ayuda a analizar cada evento por separado, nos permite calibrar cada parámetro para cada evento y luego podemos calibrar todos los eventos juntos. También nos permite trabajar con diferentes cuencas con una configuración de modelado hidrológico diferente en el mismo proyecto, nos permite hacer muchas pruebas para el mismo evento, hasta obtener un buen resultado, sin afectar a los otros eventos. Por ejemplo, para el evento extremo del 28/05/2018 en la estación Quint Fonsegrives, vemos que es un evento extremo y difícil de modelar, aun así, la plataforma nos da alternativas para continuar y avanzar con la simulación. El mismo fenómeno ocurre en el episodio 2018/07/16, es un evento que ocurre en verano, y el episodio es muy rápido y tiene un doble pico de inundación, aun así, el modelo es capaz de modelar, este tipo de análisis se puede hacer para cada evento, ver el apéndice (hidrogramas simulados).

Los resultados muestran que la plataforma PLATHYNES exhibe un sólido desempeño en la simulación de eventos con caudales elevados, como se evidencia por los valores de R^2 en Baziège. Sin embargo, es importante destacar que su rendimiento disminuye significativamente en situaciones con caudales más bajos, como se observa en Quint Fonsegrives, lo que indica la importancia de considerar la capacidad de la plataforma en diferentes contextos hidrológicos. Además, se debe tener en cuenta que algunos eventos presentan notables retrasos en la plataforma, lo que puede ser relevante para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos.

Respecto al coeficiente de escorrentía C_r , es calculado directamente por la plataforma PLATHYNES, pero en algunos eventos extremos muestra cierta inconsistencia, por lo que se calculó manualmente, pero este error se ha mejorado con la adición de datos de precipitaciones, pudiendo decir que para que la plataforma calcule y muestre resultados más consistentes con la realidad, es necesario contar con la mayor cantidad de datos de lluvia, llegando en algunos casos hasta 4 días antes y después del evento de inundación, estos valores en promedio 0.5 para Baziège y 0.45 para Quint Fonsegrives, estando dentro de un rango esperado para este tipo de cuenca.

A pesar de sus ventajas, PLATHYNES no está libre de tener errores, por ejemplo, debemos tener muy claro que una vez que empezamos a modelar en un ordenador, debemos intentar estar siempre en el mismo ordenador, ya que copiar o intentar trabajar de forma remota, genera una oleada de problemas de configuración en la ruta del directorio de carpetas, Por ejemplo, esto hace imposible seguir modelando en el mismo proyecto, obligándonos a crear otro proyecto, por lo que es mejor trabajar siempre localmente en el mismo equipo local.

- **En cuanto al modelado hidráulico:**

Aunque todavía no hemos avanzado mucho con el modelado hidráulico, aun así, logramos dar el primer paso para verificar la calidad de nuestros datos, en esta parte analizamos la relación entre altura y caudal simulados con MASCARET, con diferentes coeficientes de Strickler; Esto nos permitió tener más claro la combinación de coeficientes que serán los más precisos en las simulaciones.

Los resultados de las modelizaciones de caudales con el modelo hidráulico 1D MASCARET, muestran para los caudales bajos ($<35 \text{ m}^3/\text{s}$): una buena coincidencia entre la altura-caudal entre el modelo MASCARET y los medidos en campo, esto es visible en la curva de calibración resultante del modelado hidráulico. En la Figura 21, podemos ver un conjunto de líneas alrededor de la curva de calibración y los caudales medidos en campo, luego, a partir de todo esto decidimos trabajar en el modelado para la primera sección de la estación de Baziège, con el coeficiente de lecho menor 20 y lecho mayor 4, esta conclusión se sacó después del análisis de todas las desviaciones que se obtuvieron con cada una de las combinaciones; Esta brecha está más cerca de cero, por lo que las líneas están muy cerca de la curva de calibración.

También podemos notar los gráficos; que tienen una mayor afinidad con caudales bajos, es decir, aquellos por debajo de $60 \text{ m}^3/\text{s}$, después de estos se observa una gran varianza, esto se puede ver en el gráfico 22. La inyección de grandes caudales ($100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$) que pueden causar inundaciones (figuras 23 y 24), perfiles inundados, estos son una referencia para lo que podemos obtener posteriormente con los hidrogramas producidos en las cuencas intermedias.

Finalmente, podemos concluir, la gran importancia de este tipo de trabajos, y especialmente el rigor metódico para trabajar en estos modelos, la calidad y cantidad de datos son importantes para obtener buenos resultados, reduciendo así el grado de incertidumbre sobre el modelado.

VI. RECOMENDACIONES

- En este tipo de proyectos, los primeros meses son los más duros, ya que consisten en recopilar y después procesar datos. Pero gracias a esto, tuve la oportunidad de utilizar nuevas herramientas, que agilizan y facilitan el análisis de datos, por ejemplo, LAMEDO, Vigicruces, SACHA, BAREMÉ, que se utilizan constantemente en el campo del modelamiento dentro del servicio de prevención y gestión de riesgos de inundaciones. Esta etapa es una de las más importante en todo proceso de modelamiento, pues va a depender directamente de la cantidad y la fiabilidad de los datos para obtener un modelamiento lo más confiable posible para mejorar nuestras herramientas a la hora de la toma de decisiones.
- Con respecto a la modelización hidráulica, también ha tenido su parte de procesamiento de datos; pero con la ayuda de mis colegas Ludovic y Jean Nicola; que me apoyó constantemente en la construcción del modelo en la plataforma MASCARET se pudo obtener los primeros resultados de esta.
- Gracias a este conocimiento y experiencia que logré adquirir durante mi estancia, pude dictar dos conferencias web a las que fui invitado, por la Universidad de Colombia Santo Tomás-Bogotá y el círculo de profesionales de la hidrología en Perú, es así como me di cuenta de que los profesionales del campo hidrológico pueden interesarse aún más en nuevas herramientas que modelen mejor estos fenómenos.
- Finalmente, desde mi llegada al Servicio de Predicción de Inundaciones de Garonne Tarn Lot (SPC GTL) he sentido la calidez humana y profesional en todos los miembros del equipo, estoy feliz de poder pertenecer y colaborar con el equipo.

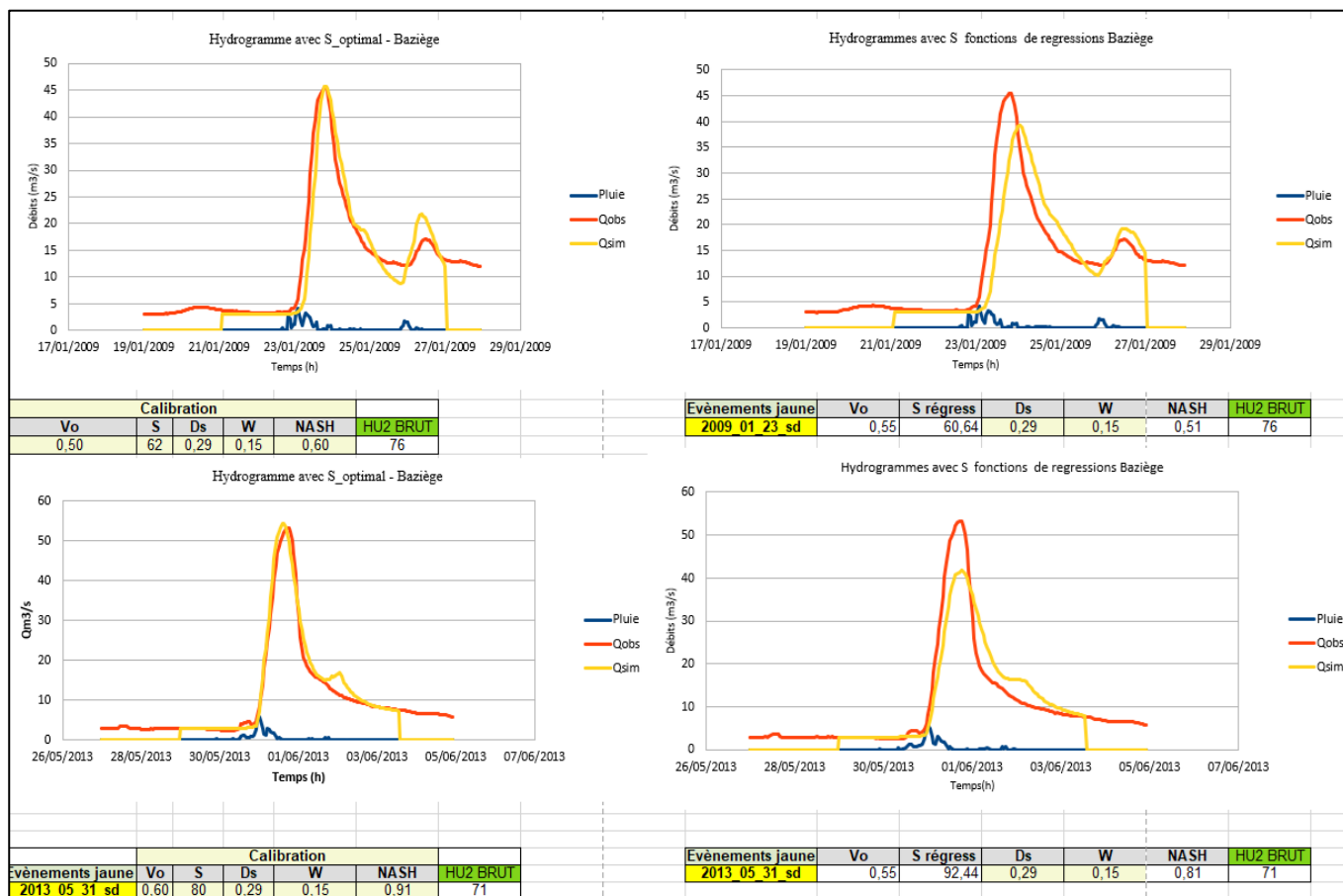
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayral, P. (2005). 'Contribution à la spatialisation du modèle opérationnel de prévision des crues éclair ALHTAÏR', *Etudes de Géographie et Physiques*, XXXII(August), p. 315.
- Bildstein, A. (2018). Modélisation hydrologique distribuée pour la prévision des crues de la Loire à Chadrac.
- Bouadila, A. (2015). Elaboration d'un modèle hydrometeorologique sous les plateformes athys et GR4J.
- Bouvier, C., Szczypta, C., Abaza, M., Marchandise, A. (2010). Régionalisation d'un modèle pluie-débit distribué sur le territoire français: premiers résultats.
- Clementi, P. (2015). Intégrer la lame d'eau radar améliore-t-il la prévision des crues ? *Corine Land Cover*, 2012.
- EDF. (n.d.). *Présentation du complexe de Montpezat. Estimation d'une pluie de bassin par observation RADAR.* Rétabli http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/B.04_-Formation_ATHYS,_version_2020._Rétabli_http://www.athys-soft.org/Formation%20ATHYS%20-%20Manuel%202020%20-%20FR.pdf
- IMFT. (n.d.). *Tutoriel de formation au modèle MARINE.*
- Marchandise, A. (2007). Modélisation hydrologique distribuée sur le Gardon d'Anduze ; étude comparative de différents modèles pluie-débit, extrapolation de la normale à l'extrême et tests d'hypothèses sur les processus hydrologiques. Montpellier II.
- Marie de Toulouse. (2018). Guide communal de coordination en cas d'inondation, 2018 par l'Hers Mort et ses affluents 3 p.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models' part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10, 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Routhe. (2020). *Modélisation de l'Hers Mort, SPC.*
- Routhe. (2020). *Servicio de previsión de inundaciones de Garonne Tarn Lot.*

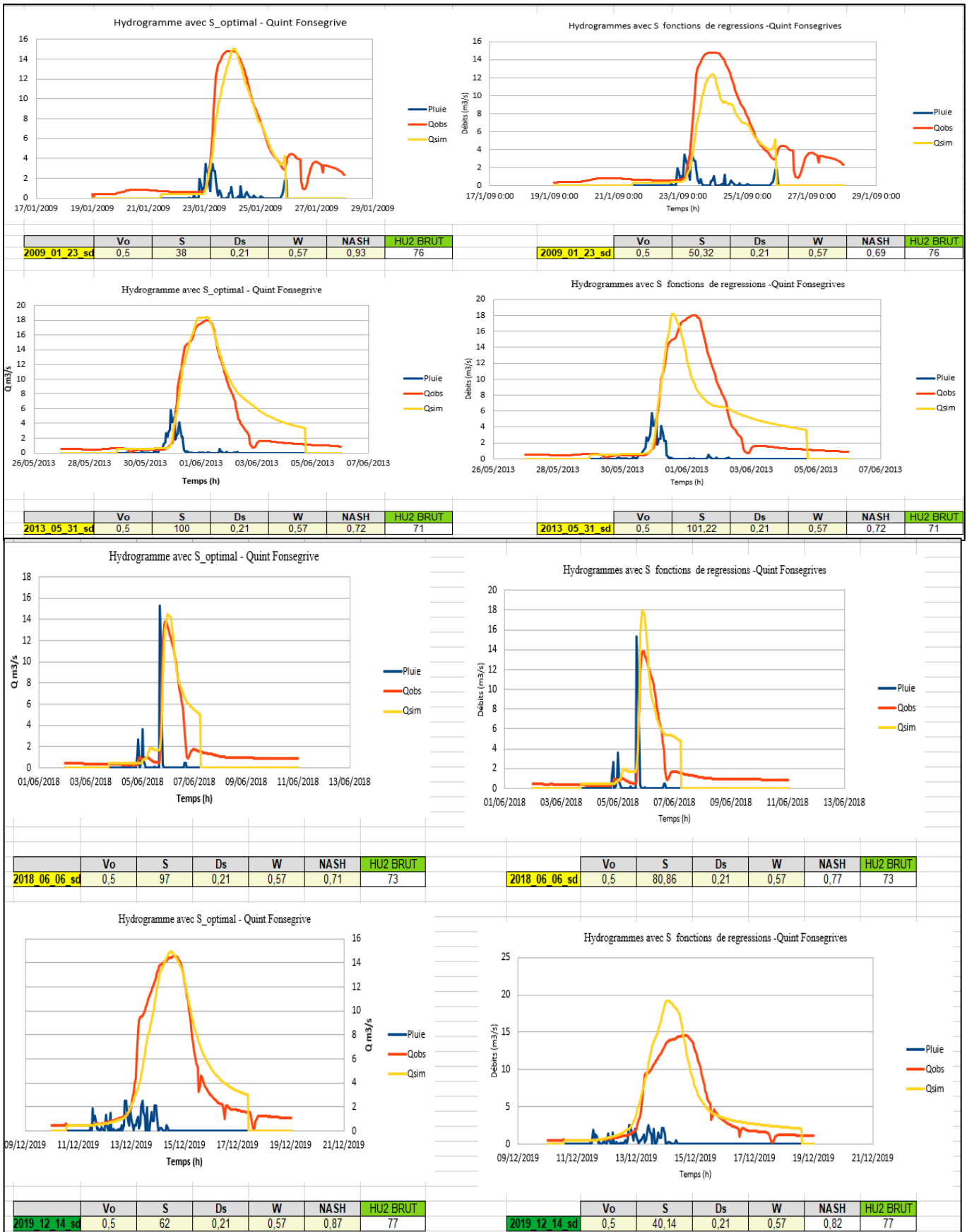
- Roux, H., Labat, D., Garambois, P.-A. (2011). *A physically based parsimonious hydrological model for flash.*
- SCHAPI. (2018). *Synthèse station HYDRO.*
- SCHAPI. (2019). *Guide utilisateur de Mascaret + Plugin Qgis.*
- Tabary, P., Desplats, J., Do Khac, K., Eideliman, F., Gueguen, C. et Heinrich, J.-C. (2007). The New French Operational Radar Rainfall Product. Part II: Validation. *Weather Forecast*, 22, 409–427. doi:10.1175/WAF1005.1
<http://dx.doi.org/10.1175/WAF1005.1>
- Wikhydro. (2020). *Modélisation hydraulique.* rétabli
http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/B.26__Mod%C3%A9lisation_hydraulique#Construction_des_mod.C3.A8les_hydrauliques

VIII. ANEXOS

Hydrogrammes à Baziège



Hidrogramas- Quint fonsegrives



Ejemplo: catálogo de eventos

Événement 06/06/2018

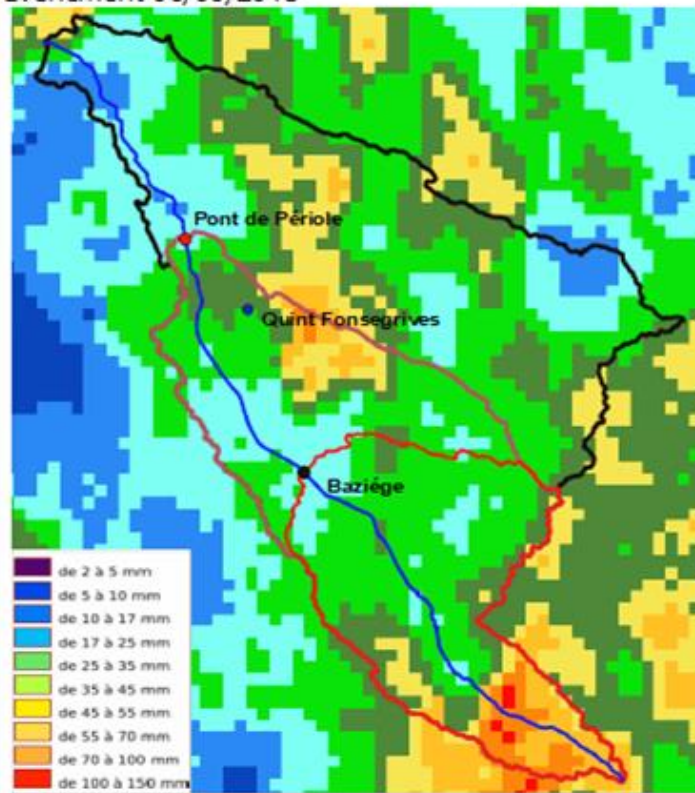
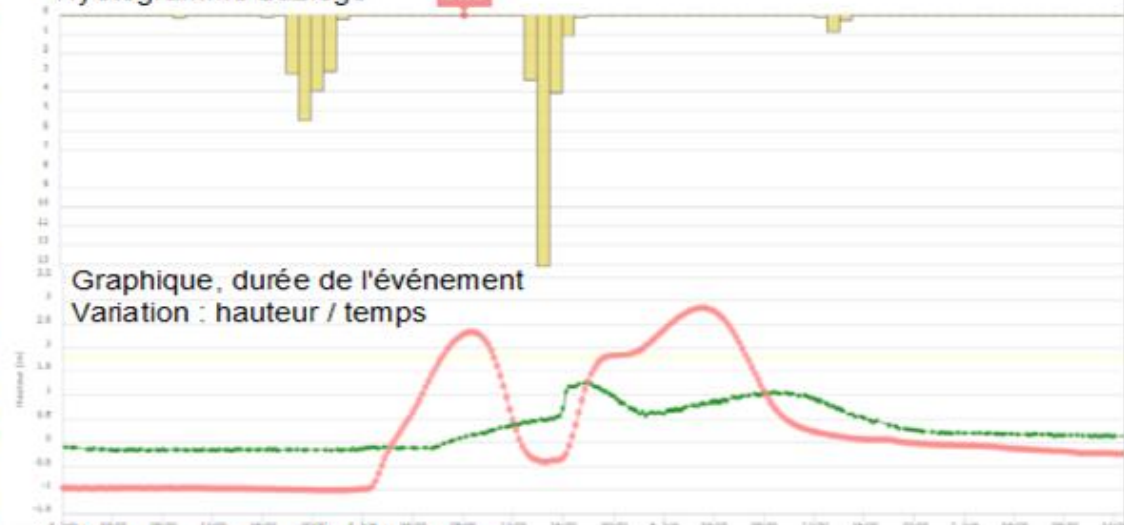


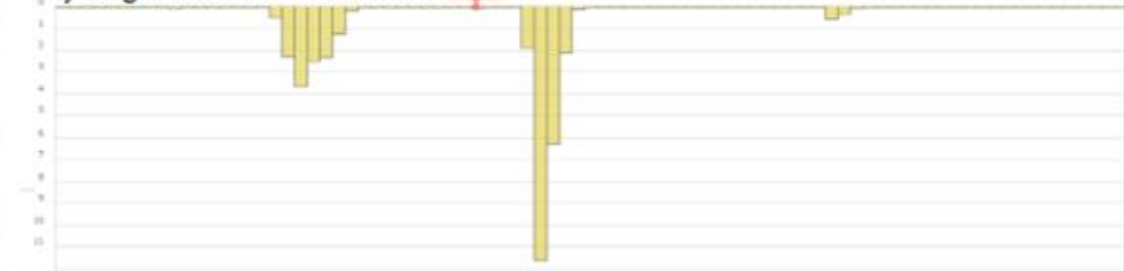
Image :Antilope du 06/06/2018 05:00

Commentaires : Hu2brut au 05 juin

Hyétogramme Baziège



Hyétogramme Pont de Périole

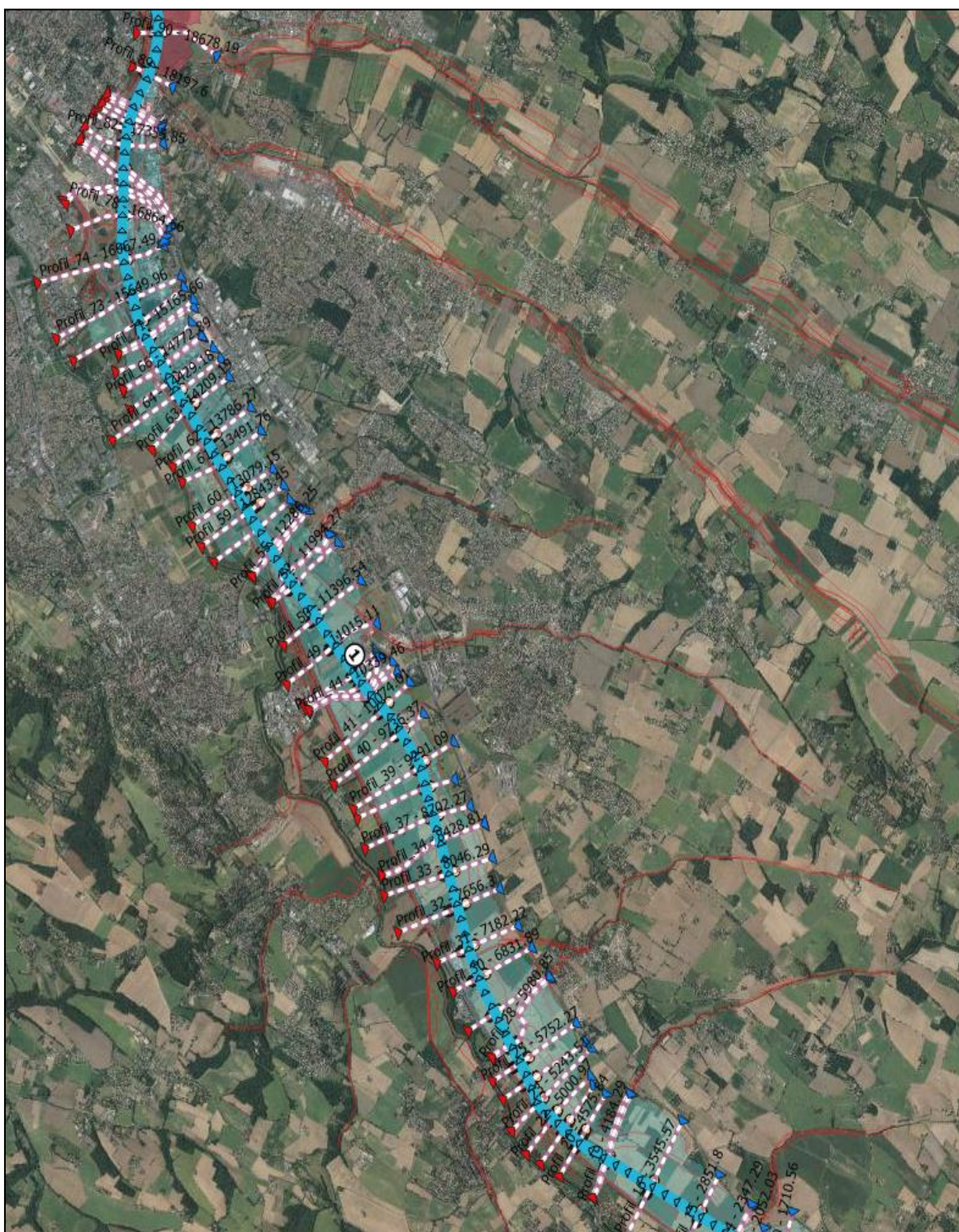


Station	Date	Hauteur m	Pluie mm	Débits m³/s	Hu2Brut(%)
Baziège	06/06/18 03:00	2,85	38,9		72,60 %
Quint Fonsegrives	05/06/18 21:00	2,36	x	13,8	x
Pont de Périole	05/06/18 18:00	1,25	36,1	79	72,80 %

LEGENDES :

- L'item à Toulouse (Pont de Périole)
- L'item à Bazège

Modelo, MASCARET et CIZI



Mapa: modelo MASCARET, con líneas de perfil a lo largo del río Hers Mort