

## 2 PHASE 2 : MODELISATION HYDRAULIQUE 2D

### 2.1 APPROCHE PLUIE-DEBIT A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT / PERIMETRE

Afin de caractériser les apports hydrologiques, l'approche numérique retenue consiste à modéliser, la **transformation de la pluie en débit sur l'ensemble du bassin versant topographique** (modélisation hydrologique).

Cette approche permet :

- De représenter les hétérogénéités et variations de l'occupation des sols à l'échelle du bassin versant,
- D'estimer la réponse de chaque sous bassin versant à la pluie,
- De rendre compte des décalages entre les différentes contributions du bassin versant, et par conséquent des mécanismes de propagation des crues au sein du réseau hydrographique principal.

Cependant l'**approche pluie-débit** seule ne permet pas de qualifier l'occurrence des crues simulées. En effet, une pluie d'occurrence donnée ne conduit pas nécessairement à une crue de même occurrence. Une pluie est généralement d'occurrence variée selon le pas de temps considérée. L'autre paramètre important est la condition d'humidité initiale qui va influencer les capacités d'absorption des sols.

#### 2.1.1 LES PRINCIPES THEORIQUES DE L'APPROCHE

Globalement, la **modélisation hydrologique de type pluie-débit** permet de passer d'un hyétogramme représentant la pluie tombant sur un sous-bassin versant à un hydrogramme représentant le débit restitué à l'exutoire de ce sous-bassin versant. Elle permet donc d'estimer les apports en tout point du périmètre d'étude.

Traditionnellement, un modèle hydrologique repose sur 4 composantes principales :

- Une pluie réelle observée ou une pluie de projet qui est une représentation simplifiée du phénomène pluvieux à l'origine de la formation de la crue ;
- Une fonction de production, qui permet de représenter le passage de la pluie brute à la pluie nette en évaluant les pertes (par infiltration notamment) ;
- Une fonction de transfert, qui permet de représenter le passage de la pluie nette à l'hydrogramme de crue à l'exutoire de chaque sous-bassin versant ;
- Une fonction de propagation, qui permet de propager les hydrogrammes de crue calculée le long du réseau hydrographique principal.



Les fonctions de production et de transfert dépendent de différents paramètres en fonction du modèle hydrologique choisi (l'occupation du sol, la perméabilité des sols du bassin-versant, l'état de saturation du sol avant l'événement pluvieux, topographie, etc.).

### 2.1.2 FONCTION DE PRODUCTION

La **fonction de production du modèle hydrologique** permet de transformer la pluie brute tombant sur le territoire d'étude en une pluie nette qui va réellement contribuer à la génération de la crue. La fonction de production associée à un sous-bassin versant dépend notamment de l'occupation des sols majoritaire sur ce dernier. Au regard des caractéristiques du territoire d'étude (occupation des sols principalement rural) la fonction de production retenue est celle du modèle du NRCS (National Resources Conservation Service, ex-Soil Conservation Service) qui permet de rendre compte des pertes initiales au ruissellement et qui est particulièrement adaptée aux surfaces rurales peu imperméabilisées. Les sous-bassins versants sont alors caractérisés par :

- Un coefficient CN (Curve Number),
- Des pertes initiales.

Les coefficients CN et les pertes initiales de chaque sous-bassin versant sont évalués à partir du type de sol, de l'occupation des sols et des conditions antécédentes de saturation des sols. Les valeurs des coefficients CN et des pertes initiales seront ajustées lors du calage du modèle sur des épisodes de crues historiques.

## 2.2 MODELISATION HYDRAULIQUE 2D POUR PROPAGER LES ECOULEMENTS

L'approche retenue pour représenter au mieux l'**aléa débordement/ruissellement sur l'ensemble du périmètre modélisé** repose sur une **modélisation 2D**.

La **géométrie du maillage** prend en compte des **axes d'écoulement préférentiels** (cours d'eau, vallons secs, axes de concentration, routes ou chemins) et des obstacles à l'écoulement présents en lit majeur (remblais d'infrastructures, ouvrages, bâtiments, etc.).



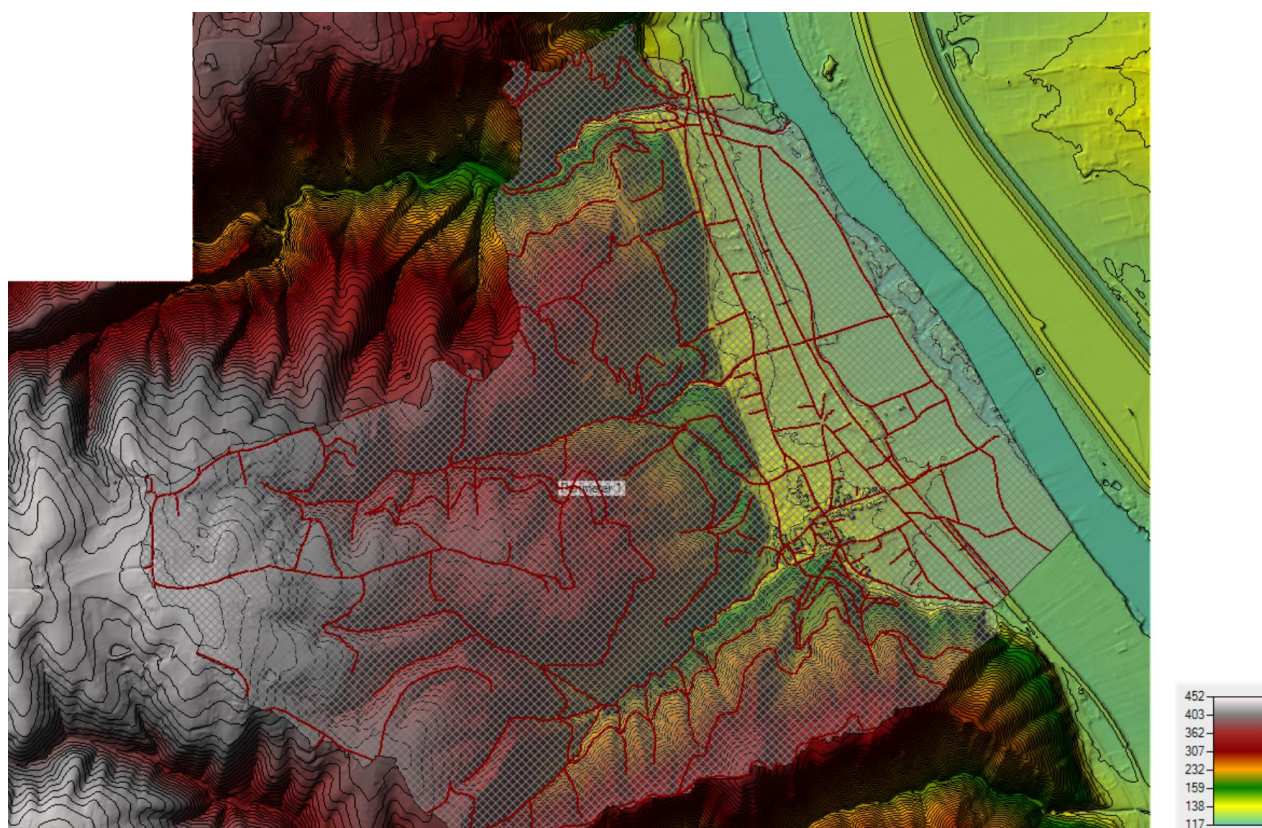


Figure 14 : Exemple maillage sur le périmètre modélisé sur la commune de Vion

*Le réseau des eaux pluviales n'est pas saisi dans son intégralité. Les ouvrages principaux ont été saisis à savoir :*

- *Ouvrages d'entonnement/d'engouffrement dans le réseau des eaux pluviales,*
- *Ouvrages de franchissement (exemple : franchissement de remblai d'infrastructure).*

*Nota : certains fils d'eau ont été relevés et nivelés lors des visites de terrain. Lorsque ces valeurs avaient été relevés une modification du Lidar HD a été réalisé pour intégrer la valeur mesurée in situ.*

**Intégration des principaux ouvrages de franchissement de voirie et d'engouffrement dans le réseau des eaux pluviales :**

*On retiendra qu'on ne modélise pas le réseau des eaux pluviales mais on essaie d'intégrer les principales entrées ou transparences dans les remblais.*



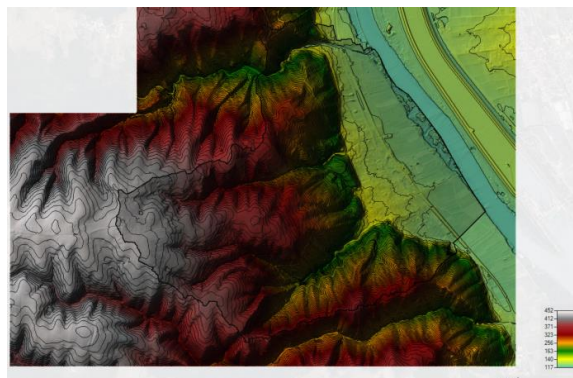


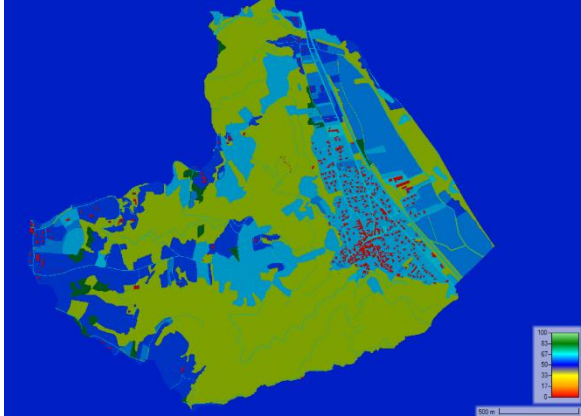
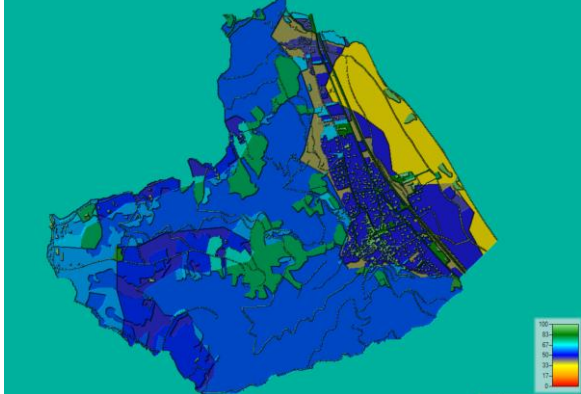
Figure 15 : Exemple ouvrage d'entonnement sur Vion / traversée du Merdran

Les données d'entrée nécessaires à la construction du maillage sont ainsi les suivantes :

- La topographie, qui caractérise le relief, les pentes et les obstacles au écoulements ;
- L'occupation des sols, qui définit la rugosité des mailles du modèle,
- Le croisement occupation des sols / pédologie qui définit la capacité des mailles du modèle à absorber ou faire ruisseler l'eau.

Dans le cadre de la présente étude, nous disposons du Lidar HD sur l'ensemble des périmètres (*précision altimétrique moyenne de l'ordre de 15 à 20 cm*).



<p>Les coefficients de frottement définis à partir des couches d'occupation des sols produites sur chaque périmètre.</p>	
<p>Coefficients CN (méthode SCS) = Coefficients infiltration/ruissellement à partir de l'occupation des sols et de la pédologie + des conditions d'humidité initiales.</p>	

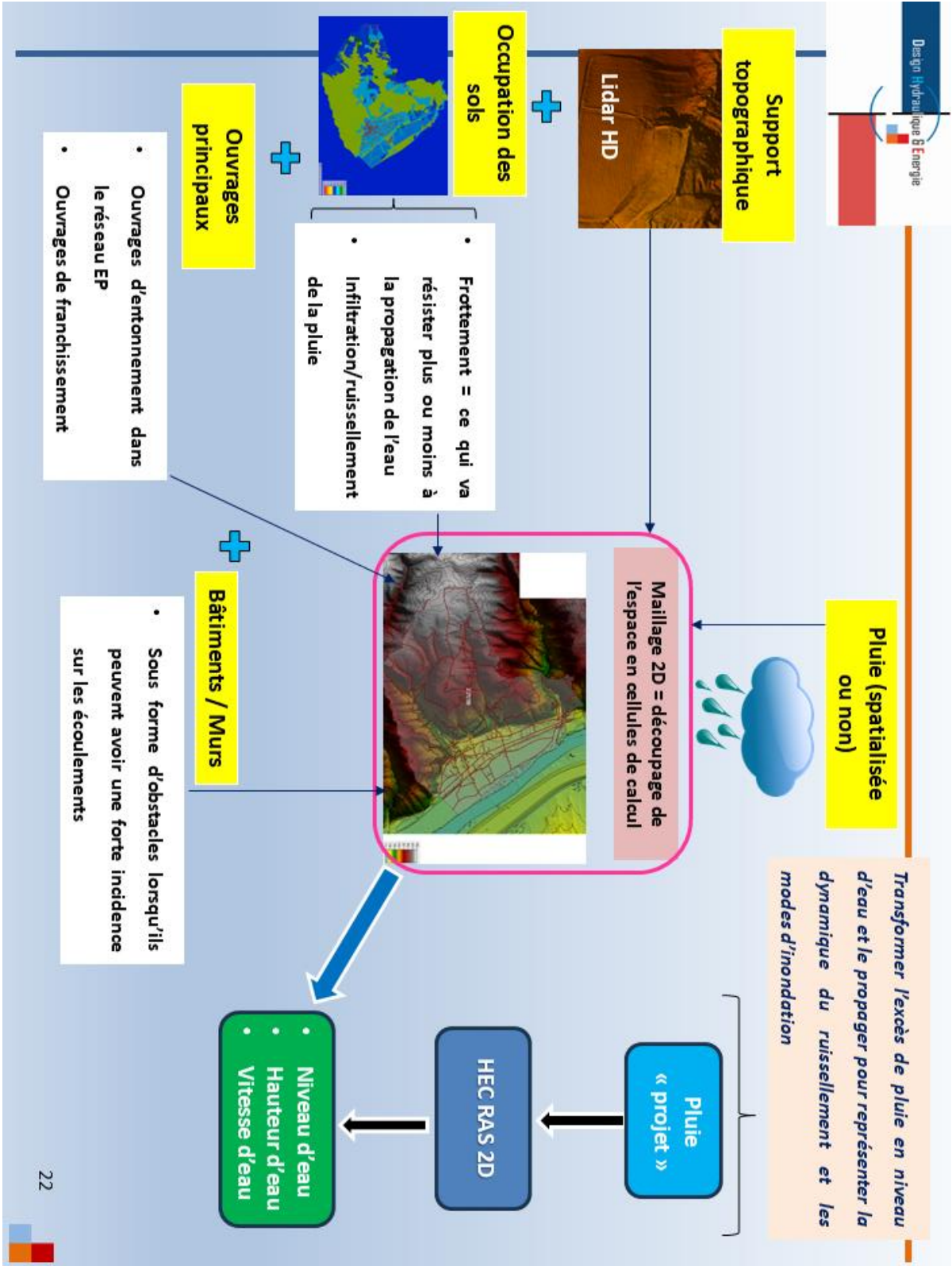


Figure 16 : Synoptique du principe de modélisation mise en œuvre



## 2.3 CALIBRAGE DES PARAMETRES DU MODELE HYDROLOGIQUE/HYDRAULIQUE

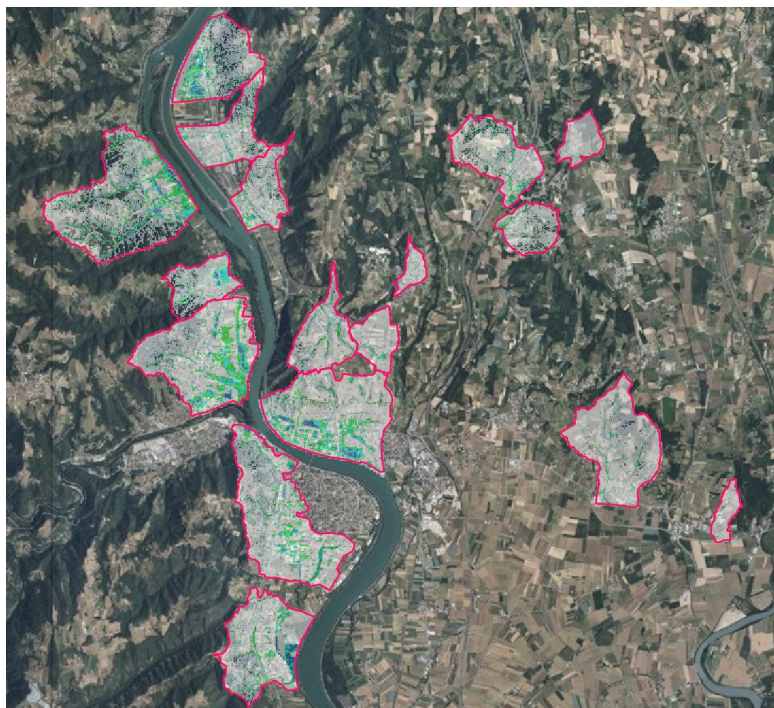
Les éléments collectés sur le terrain ou via les communes n'ont pas permis de disposer d'une base de repères de crue exhaustive.

- Il y a quelques éléments qualifiés intéressants, exemple vidéo qui ont pu être exploitées sur Vion, Chantemerle-les-Blés.
- La commune de Vion qui a été fortement impactée lors de l'épisode du 18/09/2023 nous a transmis de nombreux éléments utiles au calage du modèle. Aussi un travail sur la sensibilité de certains paramètres a été réalisé afin d'apprécier les hypothèses et ajustements à considérer sur les autres territoires.

### Démarche de validation/calage : associer les communes en leur fournissant des cartes reproduisant des évènements réels :

Pour pallier l'absence de données de calage sur certaines communes et permettre l'association des élus dans la validation des modèles, il a été proposé de réaliser un voire plusieurs tests sur des évènements réels par commune.

Une cartographie des hauteurs d'eau est ainsi produite au niveau de chaque périmètre dans le cadre d'un processus d'échanges / validations.



Nom	06/09/2008	23/10/2013	18/09/2023
Hypothèse d'humidité	Humide / saturée	Intermédiaire	Sec
1_VION			X
2_LEMPS	X		X
3-4_SAINTE-JEAN-DE-MUZOLS	X		X
5-6_TOURNON	X		X
7_MAUVES		X	X
8_EROME			X
9_GERVANS			X
10-11_TAIN-L-HERMITAGE			X
12_CROZES-HERMITAGE			X
13_LARNAGE			X
14-15_CHANTEMERLE	X		X

16-17_CHANOS-CURSON		X	X
18_SERVES			X
19_LARNAGE			X
20_CHANTEMERLE			X
21_CHANOS-CURSON		X	X

Tableau 17 : Liste des évènements simulés par périmètre / commune pour la phase de calage







## 1\_VION : Evènement de calage : Pluie 18/09/2023 (avec conditions d'humidité sèches)

Remarques sur les données utilisées :  
- pluie radar 5minutes  
- Lidar HD avec modifications DHE  
- intégration des principaux ouvrages d'engouffrement dans le réseau des eaux pluviales (pas de saisie détaillée et complète du réseau de gestion des eaux pluviales)

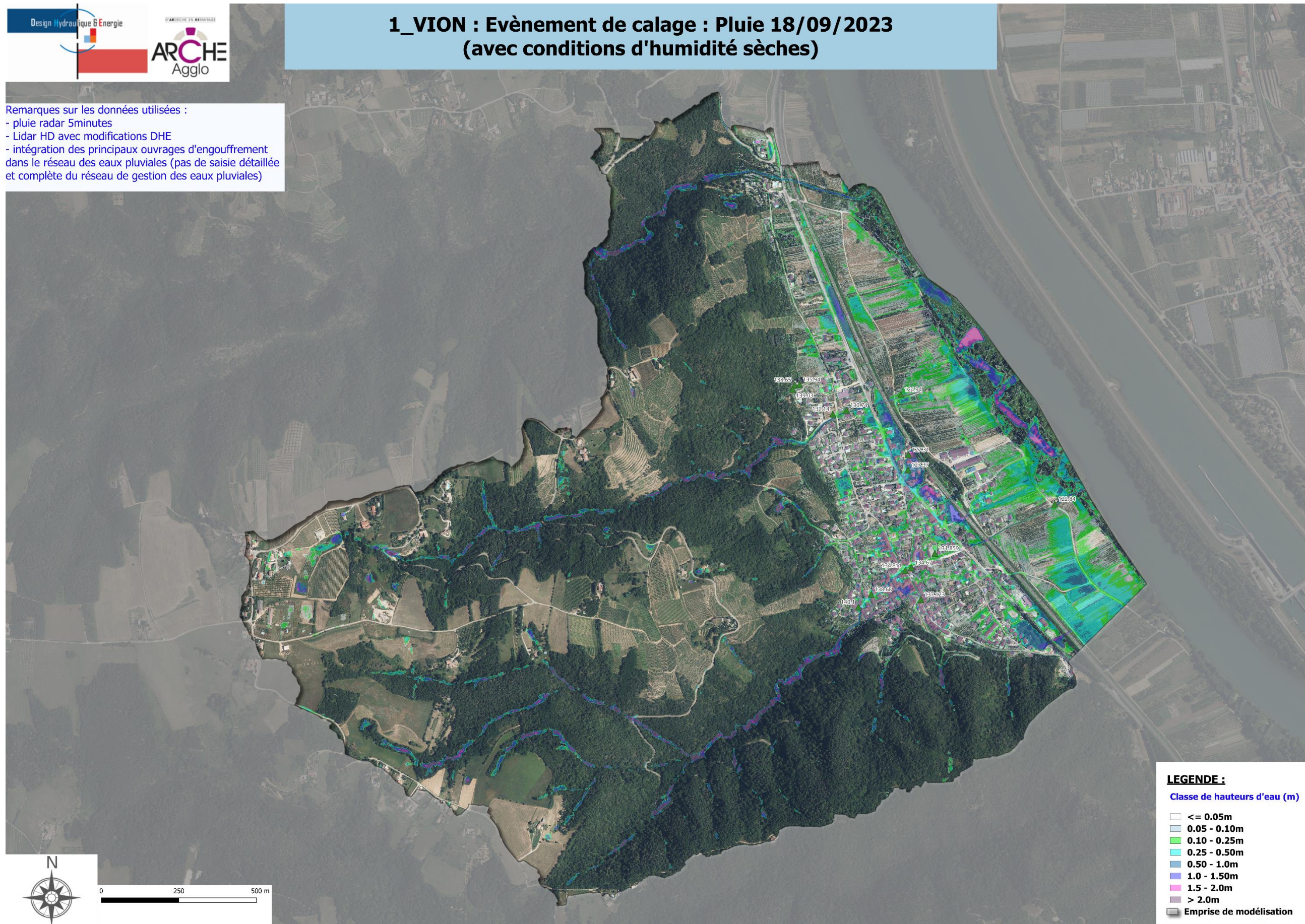


Figure 18 : 1\_VION / pluie du 18/09/2023 avec conditions d'humidités préalables = sèches





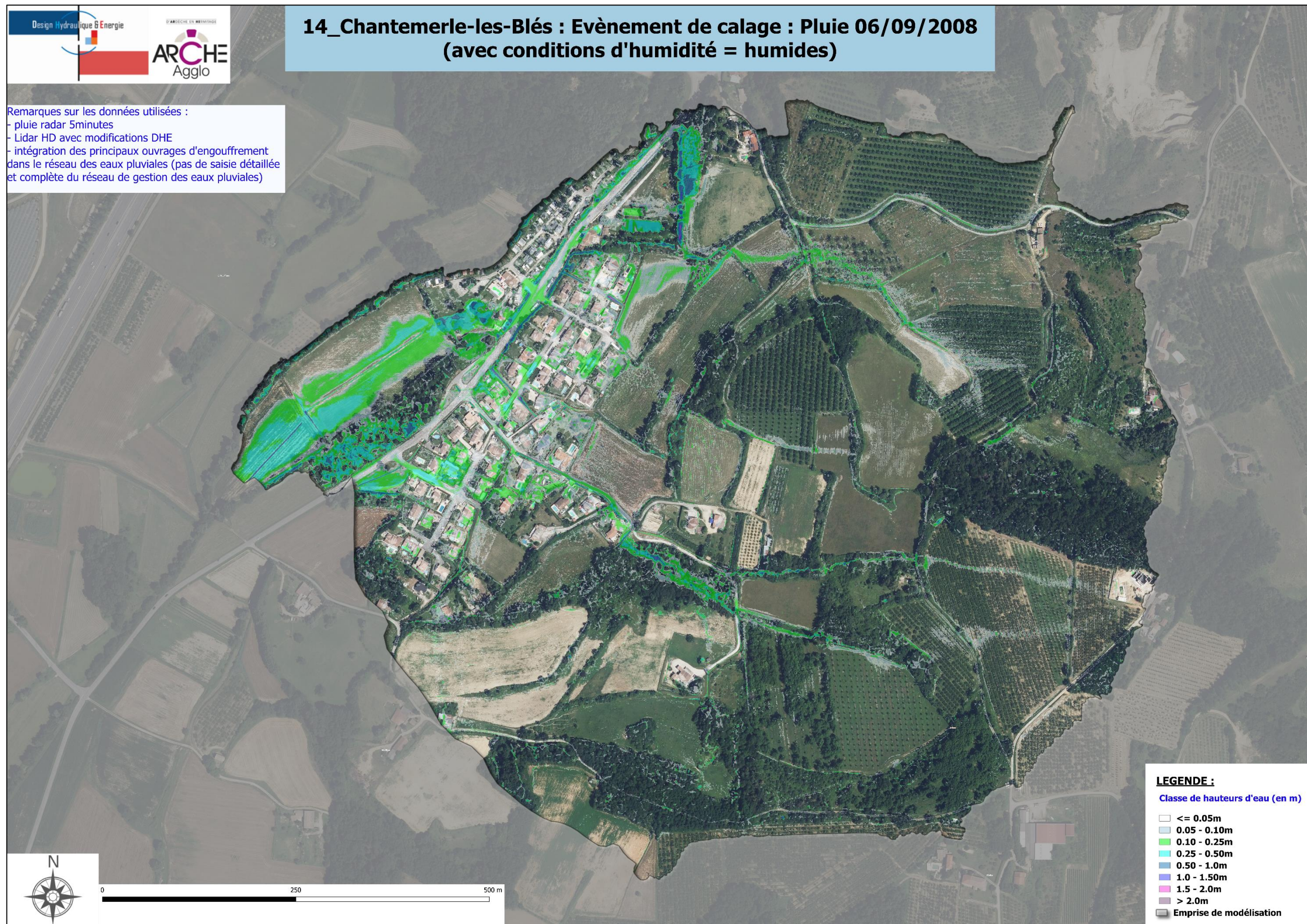


Figure 19 : 14\_CHANTEMERLE-LES-BLES / pluie du 06/09/2008 avec conditions d'humidités préalables= humides)



Le calage du modèle repose principalement dans notre cas sur l'ajustement des :

- **Paramètres de la fonction de production (transformation de la pluie en débit) :**

La fonction de production retenue est la méthode du SCS-CN (USDA-SCS 1972) et a été développée par l'USDA-NRCS (US Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service). Elle permet d'estimer le ruissellement de surface induit par un épisode pluvieux donnée en fonction des caractéristiques du bassin versant. Cette approche a été développée à partir de mesures réalisées sur des petits bassins versants agricoles aux Etats-Unis, et met en jeu un paramètre empirique qui caractérise le potentiel de ruissellement d'un sol : le Curve Number (CN) dépend de la classe hydrologique du sol, de la couverture du sol, des conditions hydrologiques et des conditions d'humidité initiales.

- Curve Number (CN) :

- Les deux niveaux d'information (pédologie/occupation des sols) ont été croisés pour fixer le Curve Number (CN) de chaque sous-bassin versant utile à la production des hydrogrammes, avec notamment une attribution du groupe de sols (de la méthode hydrologique NRCS) selon la catégorie de sols présentes. Les catégories de sols présentes les périmètres d'étude sont renseignés dans les couches d'occupation des sols.

- Groupe hydrologique des sols :

Les sols sont répartis en 4 grands groupes en fonction de leur capacité d'infiltration. La perméabilité des sols décroît de la classe A à la classe D. D'un point de vue de la texture et de la structure des sols, l'USDA-SCS (1972) décrit les 4 grands groupes de la manière suivante :

- Le **groupe A** contient des sols dont le potentiel de génération du ruissellement est très faible même lorsqu'ils sont extrêmement humides. Généralement, ces sols présentent un fort pourcentage de sable (90%) mais certains sables limoneux, sables argileux, sables argilo-limoneux, sols sableux, limons sableux, limons argilo-sableux et limons sableux peuvent s'inscrire dans ce groupe s'ils sont bien agrégés et s'ils présentent une faible densité.
- Le **groupe B** contient des sols dont le potentiel de génération du ruissellement est plutôt faible même lorsqu'ils sont extrêmement humides. Généralement, ces sols contiennent 50 à 90% de sable et 10 à 20% d'argile (sols sableux, sables limoneux, sables argileux, sables argilo-limoneux). Cependant, certains limons purs, limons argileux, limons, limons sablo-argileux, limons sableux, limons argilo-sableux et sols argilo-sableux peuvent s'inscrire dans cette classe s'ils sont bien agrégés et s'ils présentent une faible densité.
- Le **groupe C** contient des sols dont le potentiel de génération du ruissellement est plutôt élevé lorsqu'ils sont extrêmement humides. Généralement, ces sols contiennent moins de 50% de sable et 20 à 40% d'argile (argiles limoneuses, argiles limono-sableuses, limons argileux, limons argilo-sableux, limons sablo-argileux, limons sableux, sols argilo-sableux). Cependant certains sols argileux et certaines argiles sableuses peuvent s'inscrire dans cette classe s'ils sont bien agrégés et s'ils présentent une faible densité.
- Le **groupe D** contient des sols dont le potentiel de génération du ruissellement est élevé lorsqu'ils sont extrêmement humides. Généralement, ces sols contiennent moins de 50% de sable et plus de 40% d'argile (textures argileuses).



Groupe hydrologique	Potentiel de ruissellement	Texture
A	Minimal	Sable
B	Faible	Sol sableux Sable limoneux Sable argileux Sable argilo-limoneux
C	Moyen	Argile limoneuse Argile limono-sableuse Limon argileux Limon argilo-sableux Limon sablo-argileux Limon sableux Sol argilo-sableux
D	Maximal	Argile

- Un **autre facteur** pouvant influencer le CN est **l'humidité préalable des sols**.
- o Une **absorption initiale basée** sur 0.2xS (stock calculé à partir du CN a été retenue à l'issue de la phase de calage du modèle hydrologique.

Type d'entités	CNII (Groupe sol A)	CNII (Groupe sol B)	CNII (Groupe sol C)	CNII (Groupe sol D)
Bâti	98	98	98	98
Pelouses urbaines (=espaces herbacés à 50-75% de couverture)	49	69	79	84
Routes	98	98	98	98
Chemins/sentiers/routes empierrées	95	95	95	95
Zones non bâties imperméables (routes, parking...) = zones commerciales 85% d'imperméabilisation	89	92	94	95
Zones matériaux minéraux (voies ferrées, chantiers, carrières...)	90	93	95	98
Surfaces eau	98	98	98	98
Peuplement feuillus (= bois et forêts / Favorable)	35	60	75	82
Peuplement conifères	35	60	75	82
Peuplement mixtes	35	60	75	82
Formations herbacées	44	66	79	85
Formations arbustives (=broussailles et friches / Moyenne)	40	61	75	82
Vergers (= Favorable avec enherbement de tous les inter-rangs)	47	69	81	87
Vignes (= Défavorable pas d'enherbement / sol nu entre les rangs)	66	81	89	94
Terres arables	68	80	88	92

Tableau 20 : Correspondance entre les CN et l'occupation des sols

Le choix des groupes de sol s'est appuyé sur le travail réalisé à partir de la pédologie au niveau de chaque périmètre modélisé.

Dans l'ensemble, on retrouve une majorité de sols intégré dans la catégorie B.

- **Coefficients de frottement/rugosité pour la propagation des écoulements (Strickler) :**





Catégorie d'occupation des sols	K Strickler
Bâti	2
Routes	45
Chemins/sentiers/routes empierrées	40
Zones non bâties imperméables (routes, parking...)	45
Pelouses urbaines	25
Zones matériaux minéraux (voies ferrées, chantiers, carrières...)	35
Surfaces eau	35
Peuplement feuillus	8
Peuplement conifères	8
Peuplement mixte	8
Formations herbacées	16
Formations arbustives	10
Vergers	20
Vignes	25

Tableau 21 : Correspondance entre les coefficients de frottement et l'occupation des sols

- Coefficients de perte de charge au droit des ouvrages de franchissement.

*Nota : nous n'avons à ce stade pas intégré d'embâcles au droit des ouvrages de franchissement. Ce paramètre peut être important dans le calage de certains modèles.*

Des tests de sensibilité ont été réalisés sur les secteurs où nous disposons d'informations :

- Il ressort notamment que le **meilleur calage** s'effectue **en considérant des conditions sèches préalables pour l'évènement du 18 septembre 2023**. Ce point est important, notamment dans la perspective de définition de scénarios de pluie théoriques. Ces derniers devront être **construits sur ces deux facteurs, à savoir conditions d'humidité et la pluie théorique**.
- Les **tests réalisés sur Vion** nous ont conduit à retenir une **classe de sol majoritaire du groupe B/C**. Ainsi, le **scénario n°4** apparaît le plus plausible, **avec des débits spécifiques pour la pluie du 18/09/2023 de 8 à 9 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> sur le Gayzard et le Merdan**.
- La **pluie du 06/09/2008** a été **privilegiée pour modéliser une situation où les sols sont au préalable complètement saturés**. En effet, il semblerait que les impacts de la **pluie 06/09 aient été aussi importants que celle du 04/09 avec des intensités et des cumuls moins importants (exemple sur Chantemerle-les-Blés ou Tournon-sur-Rhône)**.



Tests de sensibilité sur CN :

Simulation V2 :

- CN feuillus= 78 (CN I groupe C)
- CN vignes= 89 (CN II groupe C)

Simulation V4 :

- CN feuillus = 45 (CN I groupe B/C)
- CN vignes = 70 (CN I groupe B/C)

Simulation V6 :

- CN feuillus = 56 (CN I groupe C)
- CN vignes = 77 (CN I groupe C)

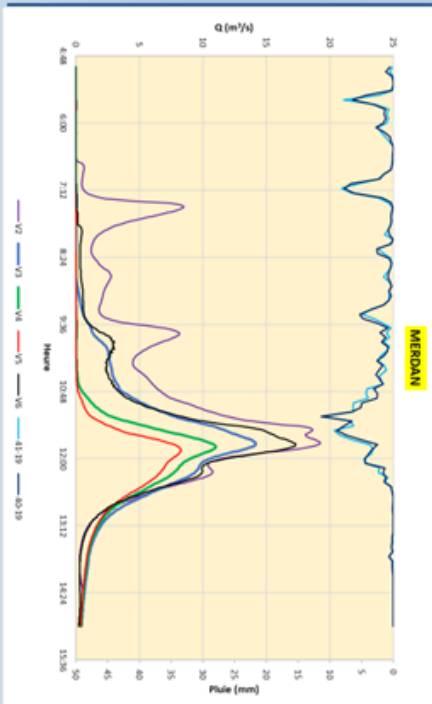
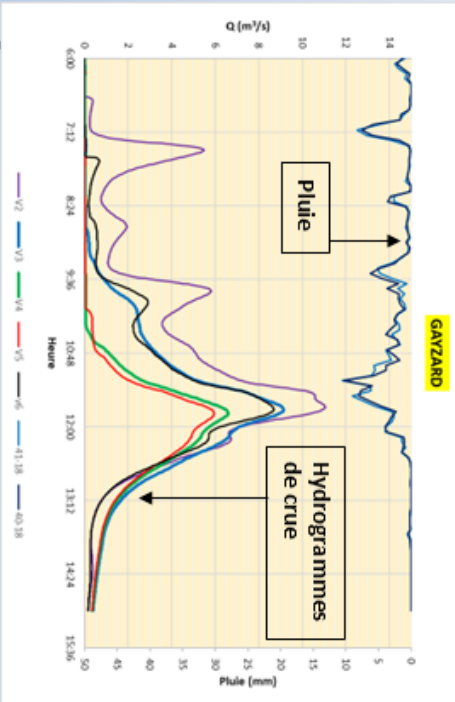
Simulation V3 :

- CN feuillus = 60 (CN II groupe B)
- CN vignes = 77 (CN II groupe B)

Simulation V5 :

- CN feuillus= 39 (CN I groupe B)
- CN vignes = 64 (CN I groupe B)

GAYZARD : bassin versant de 0.81 km<sup>2</sup>

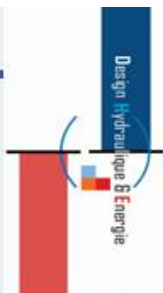


Simulation	Q (m <sup>3</sup> /s) Q spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Heure du pic de crue
V2	11.1 m <sup>3</sup> /s (13.7 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1141
V3	9.1 m <sup>3</sup> /s (11.3 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1143
V4	6.6 m <sup>3</sup> /s (8.2 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1146
V5	6.0 m <sup>3</sup> /s (7.4 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1147
V6	8.7 m <sup>3</sup> /s (10.8 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1143

MERDAN : bassin versant de 1.27 km<sup>2</sup>

Simulation	Q (m <sup>3</sup> /s) Q spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Heure du pic de crue
V2	19.3 m <sup>3</sup> /s (15.2 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1143
V3	14.2 m <sup>3</sup> /s (11.2 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1144
V4	11.1 m <sup>3</sup> /s (8.7 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1146
V5	8.3 m <sup>3</sup> /s (6.6 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1147
V6	17.3 m <sup>3</sup> /s (13.6 m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	18Sep2023 1147

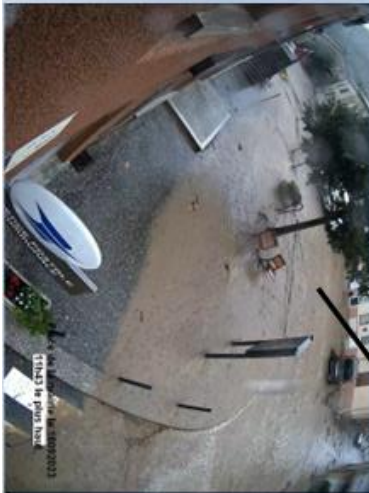




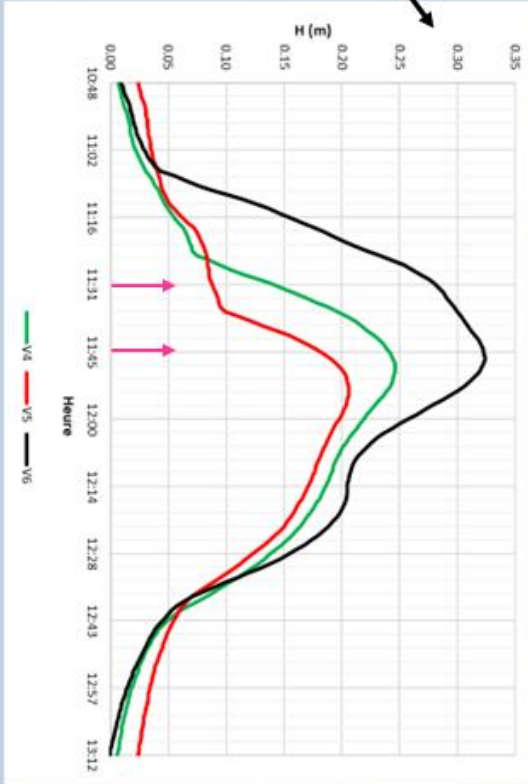




- On a bien le maximum à la bonne heure !
- Calage pour les débordements en amont :
- Test 6 : Débit trop important et un peu en avance = un peu plus d'infiltration ?
- Capacité de l'ouvrage ?
- Embâcles ?
- Bonne restitution de l'entonnement / lit mineur ?

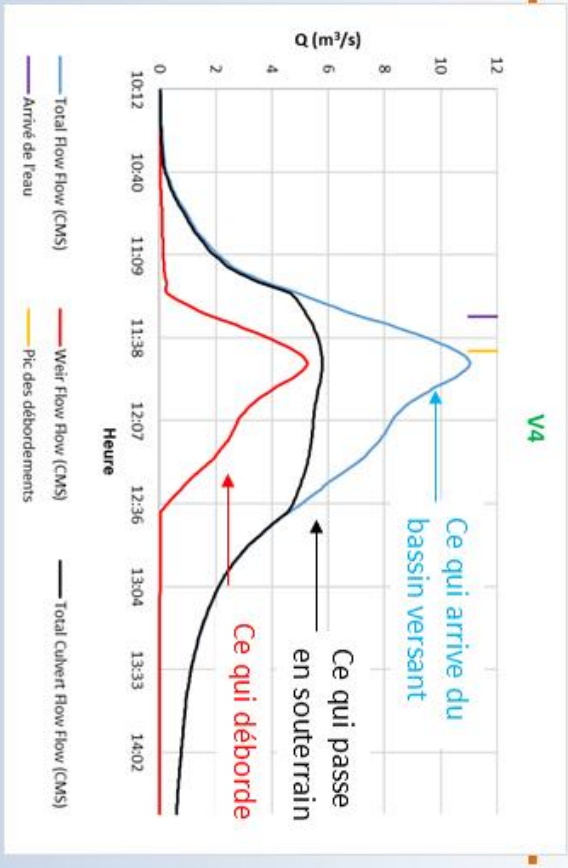
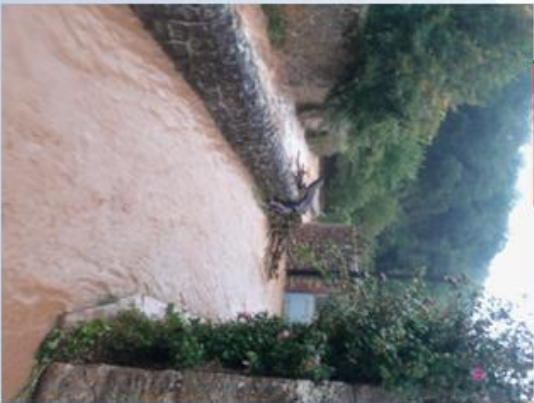


### Extraction hauteurs d'eau





Merdan / rue du ruisseau



Merdan / rue du ruisseau

ID	Z repère	V2	V3	V4	V5	V6
Repère	(mNGF)					
8	140.1	140.05	139.95	140.01	139.84	140.36
9	138.68	138.60	138.52	138.51	138.35	138.71

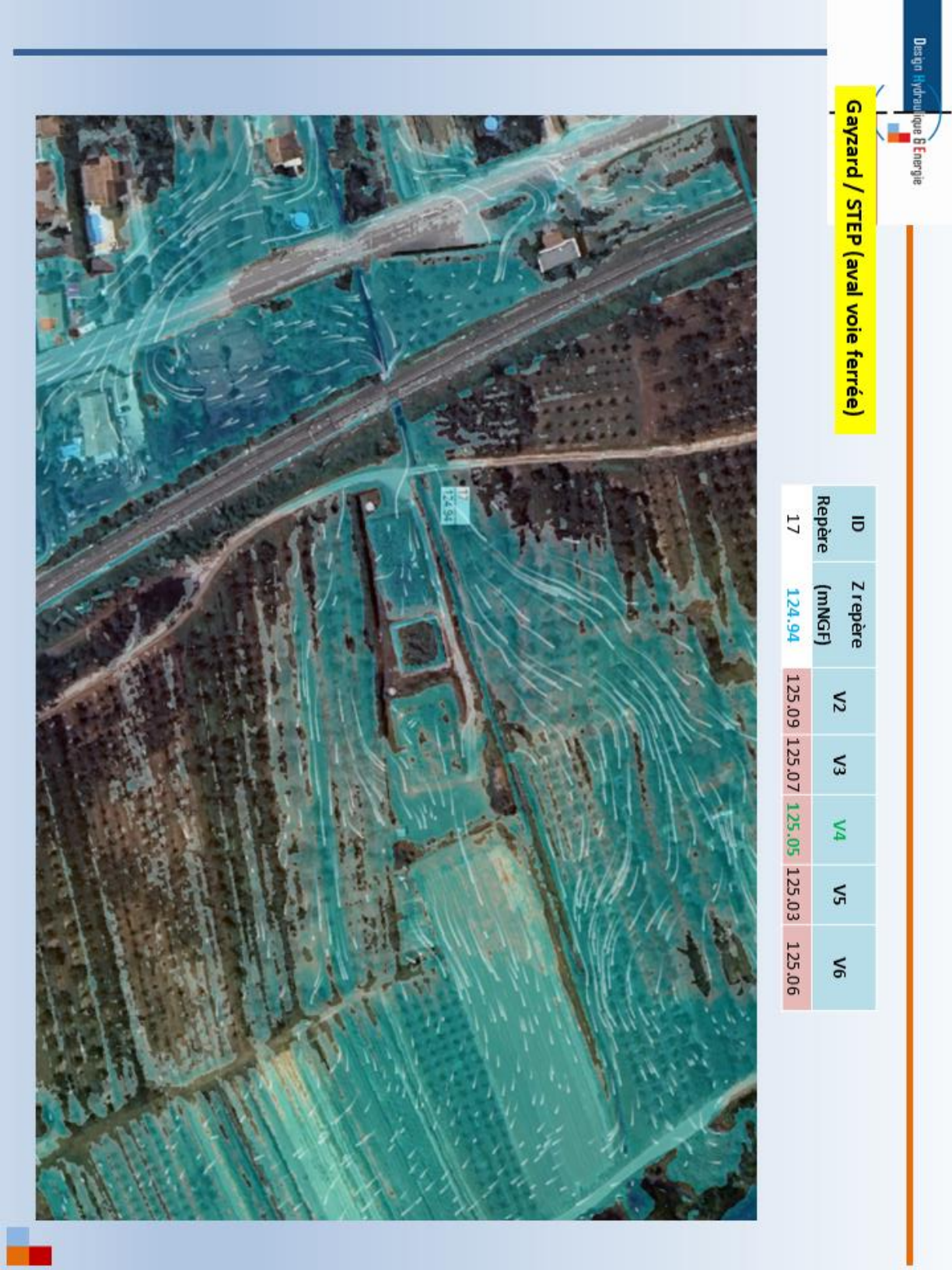




Merdan / Place de la Mairie /  
Allée des Platanes

ID Repère	Z repère (mNGF)	V2	V3	V4	V5	V6
22	134.81	134.93	134.86	134.93	134.90	135.01
23	134.67	134.51	134.56	134.53	134.44	134.75
21	131.86	131.84	131.81	131.82	131.81	131.92





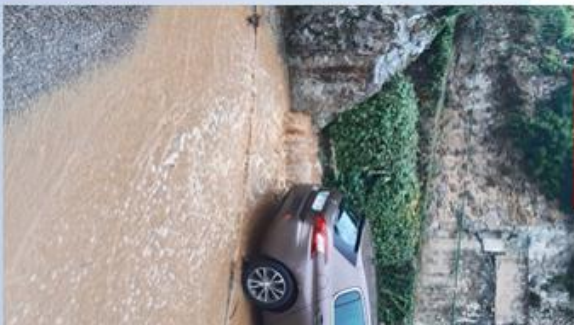


## Merdan / rue des Carrières



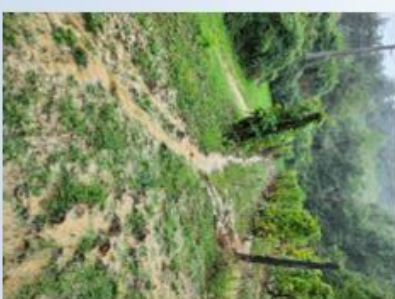
Place Terry

nergie





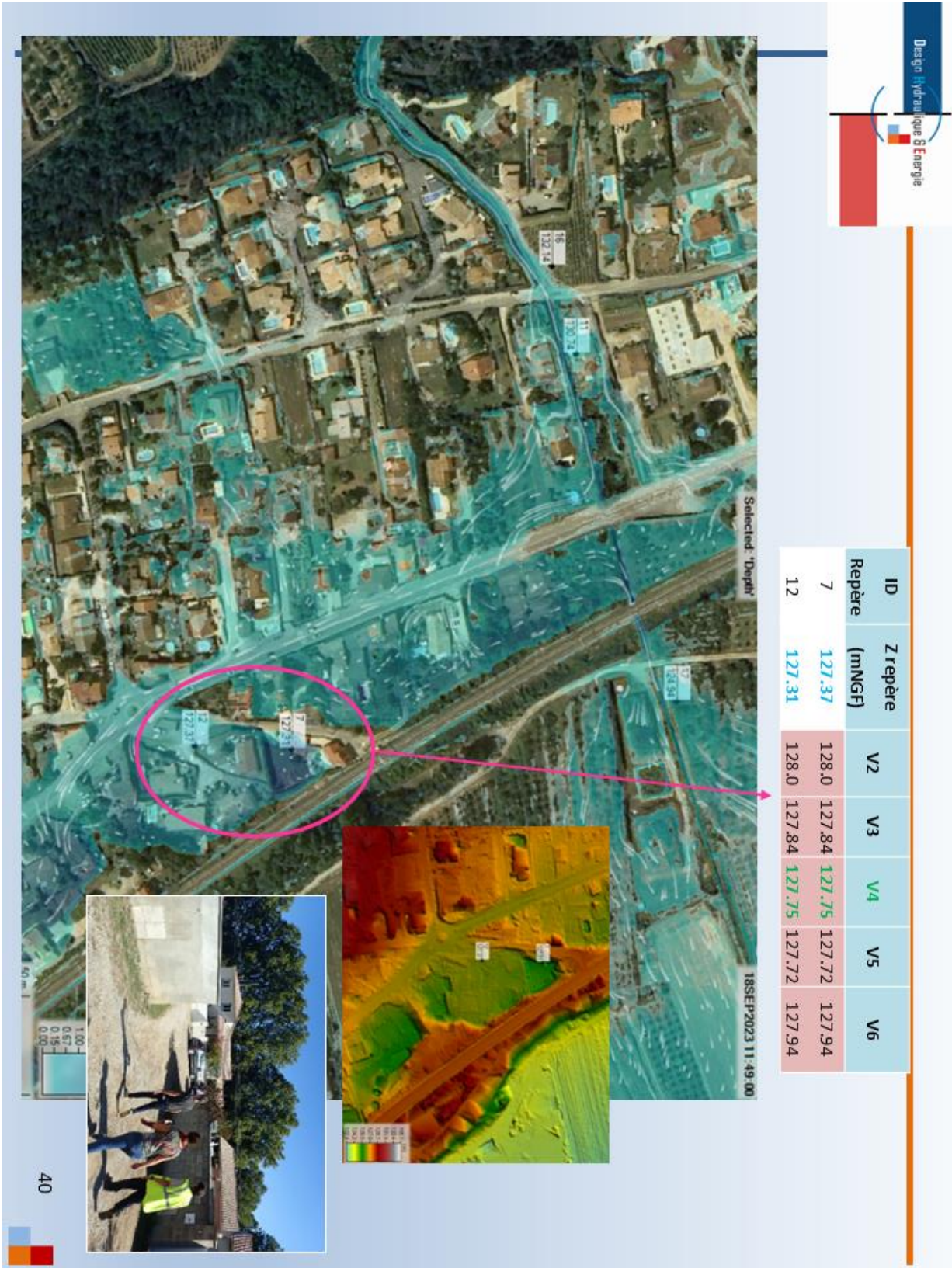
## Chemin du Paradis













Design Hydraulique & Énergie  
**CHANTEMERLE : Impasse du Moulin /**  
**(reconstitution 06/09/2008)**

**Inondation du  
lotissement le Moulin.  
les 03,04 et 06/09/2008**  
Toute ressemblance avec des  
personnes de votre entourage serait  
tout à fait logique.

