

Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique
Division de Microzonage Sismique
Equipe Effet de Site



APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE DE LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES

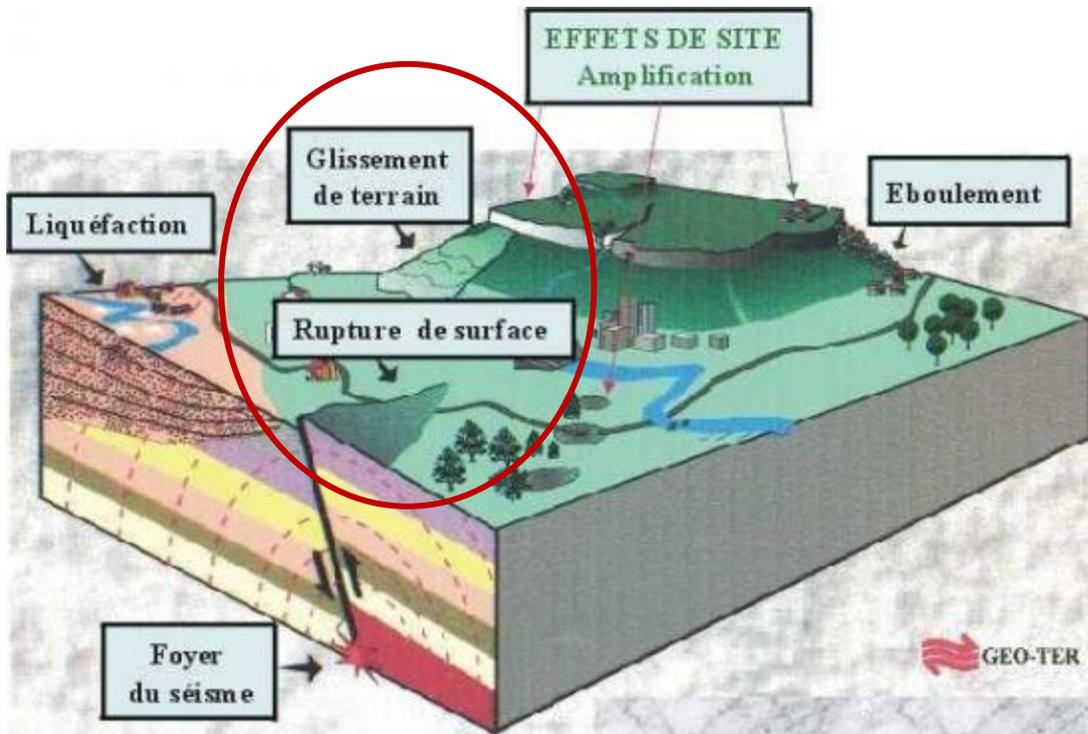
Application dans l'Est algérien (Guelma et Skikda)

CGS/DMS/EES/2018/05

Présenté par : **BRAHAM Massinissa**
Hydrogéologue / Attaché de recherche

Pourquoi le « POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES »?

- Prévention / réduction du **risque sismique** et des **effets induits**



+

Facteurs aggravants :

- Hydrologiques
- Géomorphologiques
- Géologiques
- Anthropiques



INONDATIONS

induites par séisme

submersion, rapide ou lente,
d'une zone habituellement hors
d'eau

Pourquoi le « POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES »?

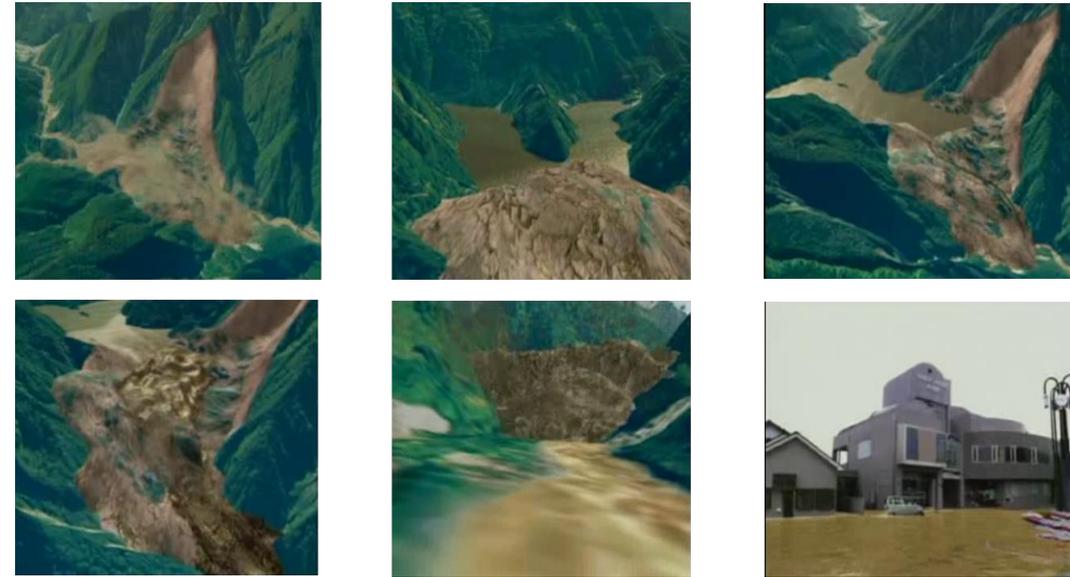
- Mécanismes de déclenchement des inondations induites par les séismes



Pourquoi le « POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES »?

Exemples dans le monde

- Chine**
- ➔ séisme du 01 juin 1786 (M= 7.7) dans le Sichuan
 - ➔ important glissement de terrain dans la rivière Dadu
 - ➔ Formation d'un barrage bloquant la rivière
 - ➔ Réplique grave (Dix jours plus tard)
 - ➔ une brèche dans le barrage (rupture)
 - ➔ inondation catastrophique (plus de 100 000 mort).



- Japon**
- ➔ séisme du 11 mars 2011 (Mw = 9) dans le NE du Japon
 - ➔ rupture du barrage agricole Fujinuma (défaut de construction de la digue principal (dans les années 40))
 - ➔ Dversement total et rapide
 - ➔ Rupture de la digue du col
 - ➔ Inondation du village Sukagawa
 - ➔ 8 mort et 5 maisons détruites

Pourquoi le « POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES »?

Exemple en Algérie (Chlef)

- Séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 ($M_s = 7.3$)
- Rupture de faille en surface
- Faille intersecte la zone de confluence des rivières Fodda et chellif
- Endiguement de la circulation des eaux
- Inondation de la plaine de oued Fodda



Zone d'inondation de Bir Safsaf suite au soulèvement de la zone de faille marqué par des flèches (Meghraoui M et Al., 1996 a)





Cartographie par « APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE »?

Analyse spatiale

- Systèmes d'information Géographique
- Télédétection

Vérification terrain

- Géologie, géomorphologie
- Géophysique

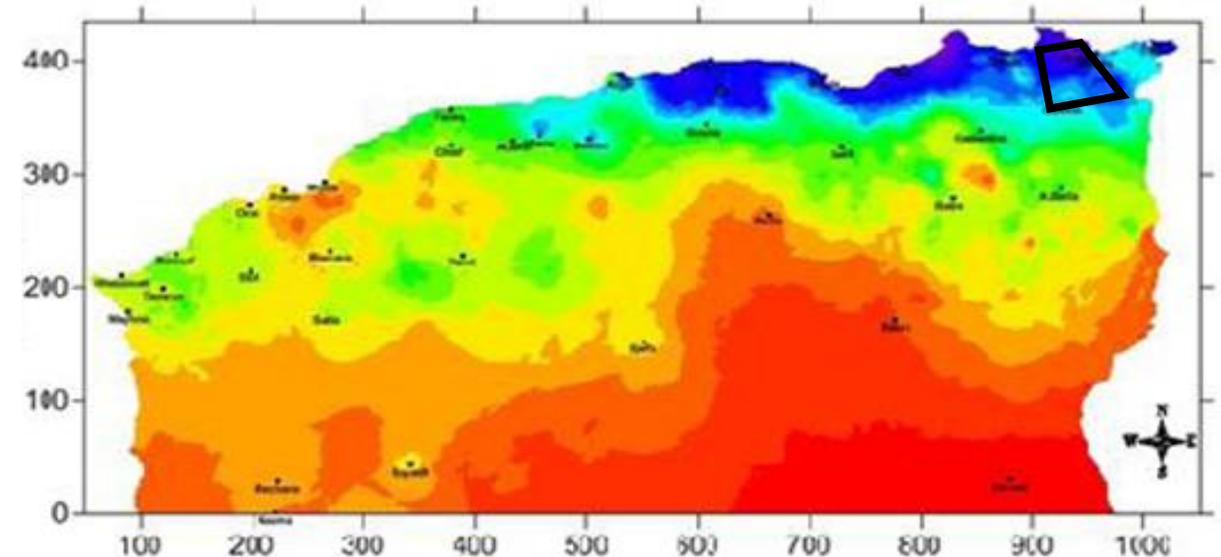
Cartographie prédictive

- Modèle statistique
- Modèle d'apprentissage automatique « Machine Learning »

Pourquoi «L'EST ALGÉRIEN (GUELMA ET SKIKDA)»?

1. Pluviométrie importante

➔ Précipitations moyennes annuelle peuvent dépasser les 800 mm/an.



Carte de pluviométrie annuelle du Nord Algérien (Source ONM)

2. Inondations historiques

Du 27 au 29 Mars 1973	Est algérien	Pluies exceptionnelles	Inondations catastrophiques dans plusieurs wilayas.	166.2 mm/jour à Annaba
03 février 1984	Est Algérien	Pluies abondantes généralisées	A Skikda : 8000 habitations envahies. A Guelma : 03 disparus, 1957 familles sinistrées, 02 ponts détruits et des canalisations d'AEP détruites. D'autres dégâts à Jijel, Constantine, Khenchela et Oum El Bouaghi.	120 mm de pluies en 3 jours sur les monts de Constantine et 80 mm en 3 jours sur les monts de Medjerda
Du 29 décembre 1984 au 01 janvier 1985	Est Algérien	Pluies exceptionnelles généralisées	Les wilayas touchées : Jijel, Constantine, Skikda, Guelma, Annaba et El-Tarf.	250 mm en 4 jours dont 195 mm en une journée.
19 janvier 2004	Skikda			
19 septembre 2018	Constantine	Pluies diluviennes	02 morts et 18 blessés	Débordement de Oued Ziad sur la RN5 près de Hamma Bouziane

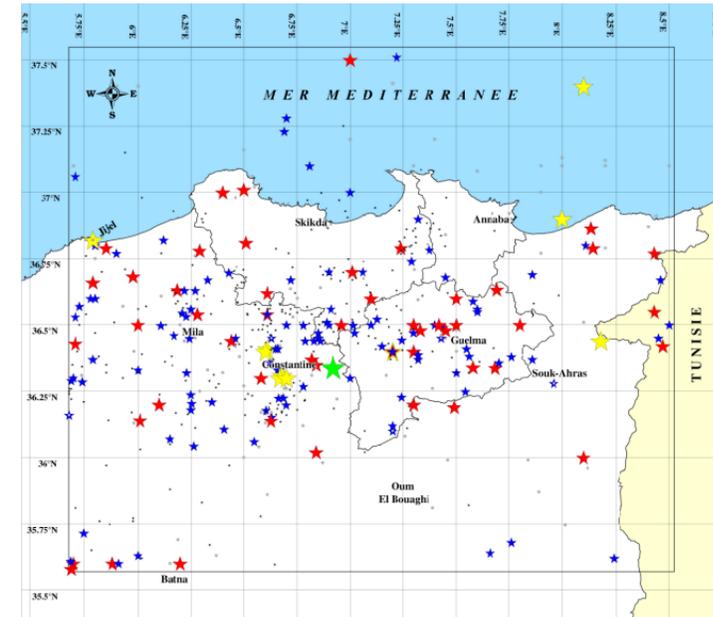
Extrait de l'inventaire des inondation en Algérie (Lahlah S., 2004 ; Sardou M. et al., 2016)

Pourquoi «L'EST ALGÉRIEN (GUELMA ET SKIKDA)»?

3. Sismicité +/- active

Paramètres des principales failles probablement actives aux alentours de la zone d'étude (CGS, 2011)

Nom de la faille	Jeu	Direction	Pendage
Faille Nord de Guelma	Décrochement dextre	E-W	Vertical
Faille Sud de Guelma	Décrochement senestre	NE -SW à E-W	Vertical
Faille Debbagh - Roknia	Normal	NW-SE	
Faille de Hammam N'Bails	Inverse	NE-SW	45°NW
Faille de Bouchougouf	Décrochement	NE-SW	Vertical

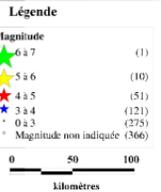


Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique
 Rue Kaddouf Rahou, BP 212 El Harrach-Douar, Alger, Algérie
 Tél. : 021 499141 / 41101 / 491084 / 412
 Fax : 021 499116 / 41101 / 491084 / 412
 Département Algo Sismique (DAS)

Etude de l'Alca sismique régional dans la région de Annaba - Skikda - Guelma

1ère partie : Alca sismique.
 Synthèse des données sismologiques : carte de sismicité historique et carte des intensités maximales.

Distribution de la sismicité historique dans la région d'étude



Carte de la sismicité historique (1587 à 2007) (CGS,2011)

4. Présence de barrages



Barrage de Zerdzas



Barrage Zit Emba



Barrage Bouhamdane



PROBLÉMATIQUE

- Déterminer les facteurs intervenant dans le processus d'apparition des inondations induites par les séismes
- Mettre en œuvre une approche de cartographie du potentiel d'inondation induite par les séismes en intégrant les récentes techniques de Télédétection et des Systèmes d'Information Géographique.
- Evaluer le degré du risque que constitue cet aléa au droit de quelques zones potentiellement favorable à son apparition.

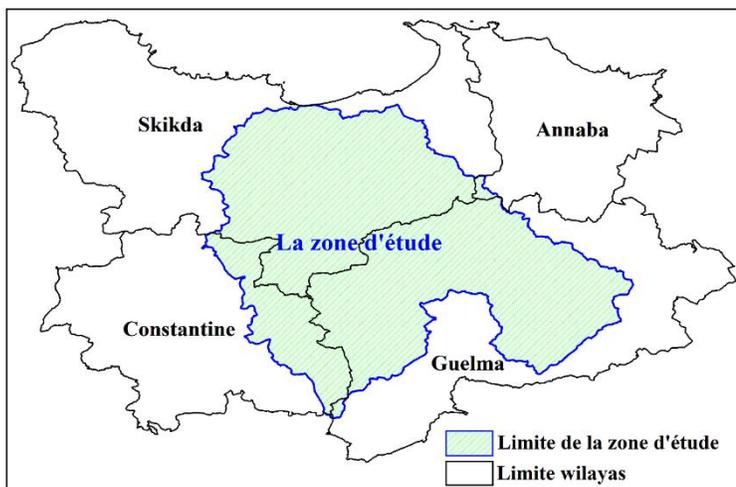
ZONE D'ÉTUDE

Unité spatiale → Sous bassin versant

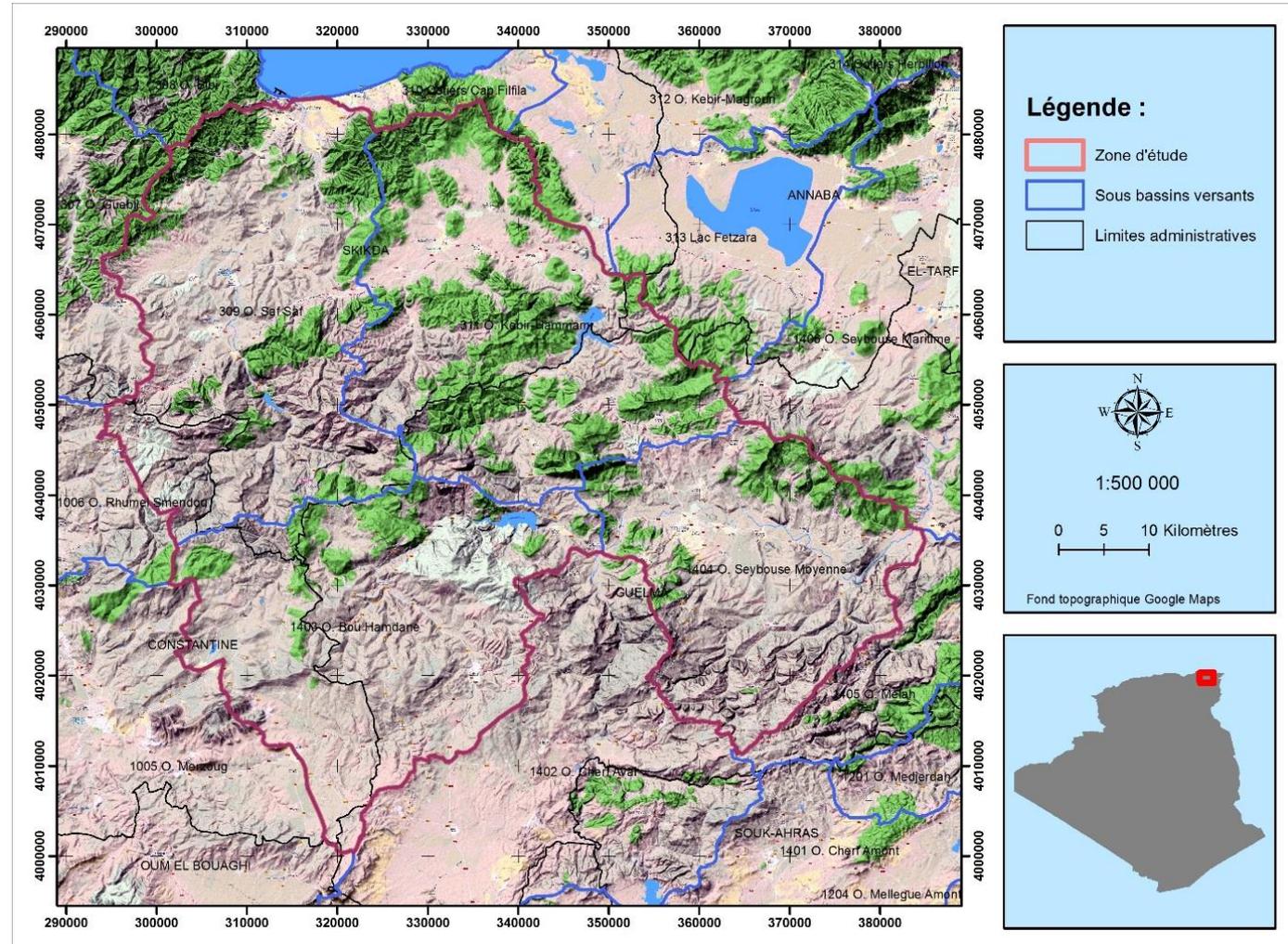
Administrativement → S'étend sur Guelma et Skikda mais touche Constantine et d'Annaba.

Superficie → 4226 km²

Périmètre → 394.64 km

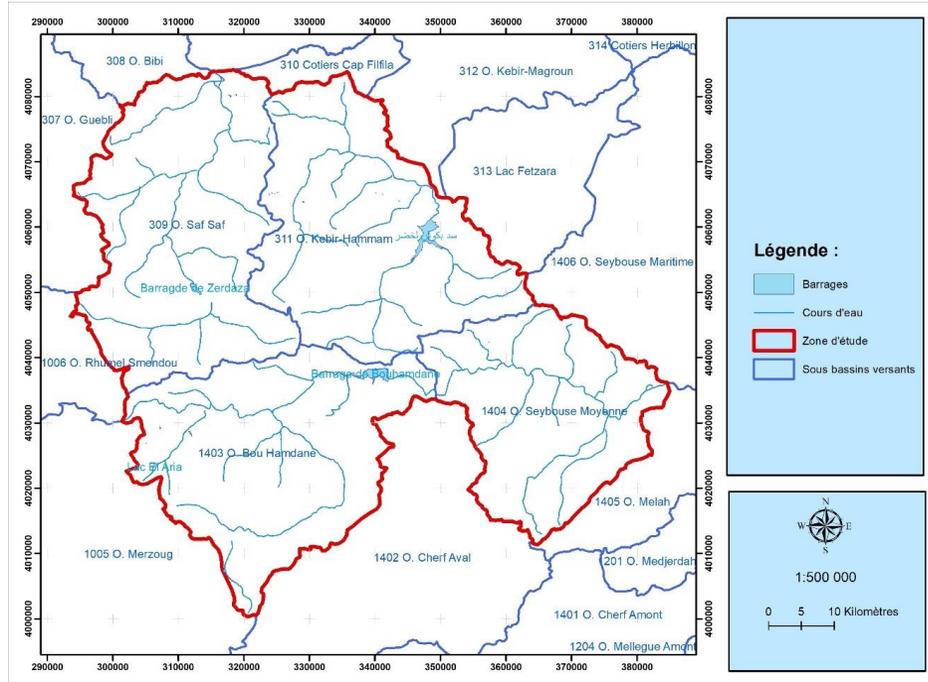


Situation administrative de zone d'étude



Aperçu général sur le milieu physique étudié

ZONE D'ÉTUDE



Les sous-bassins versants constituant l'aire d'étude

BV Côtiers Constantinois Centre

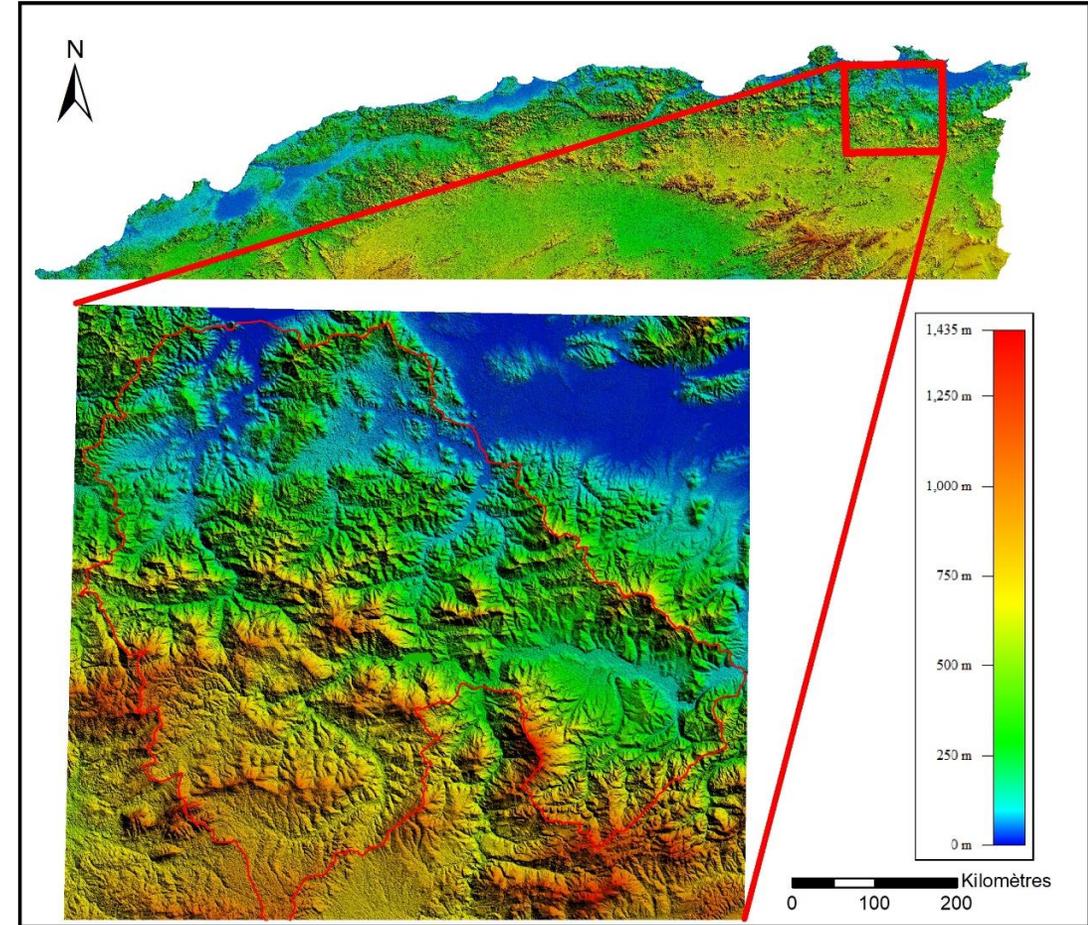
➔ SBV Oued Safsaf

➔ SBV Oued Kébir – Hammam

BV Seybouse

➔ SBV Oued Bouhamdane

➔ SBV Oued Seybouse Moyenne

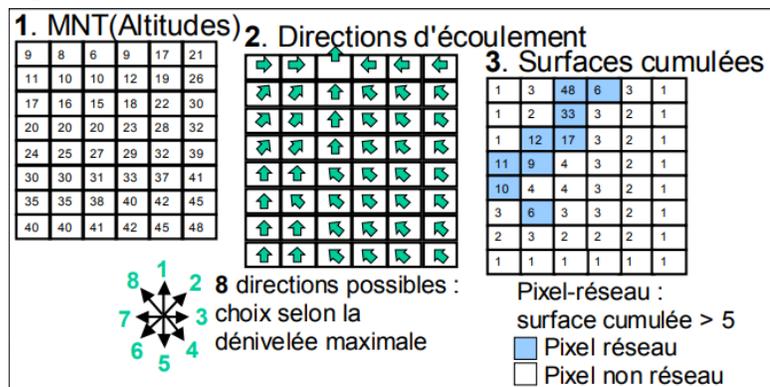


Topographie de la zone d'étude



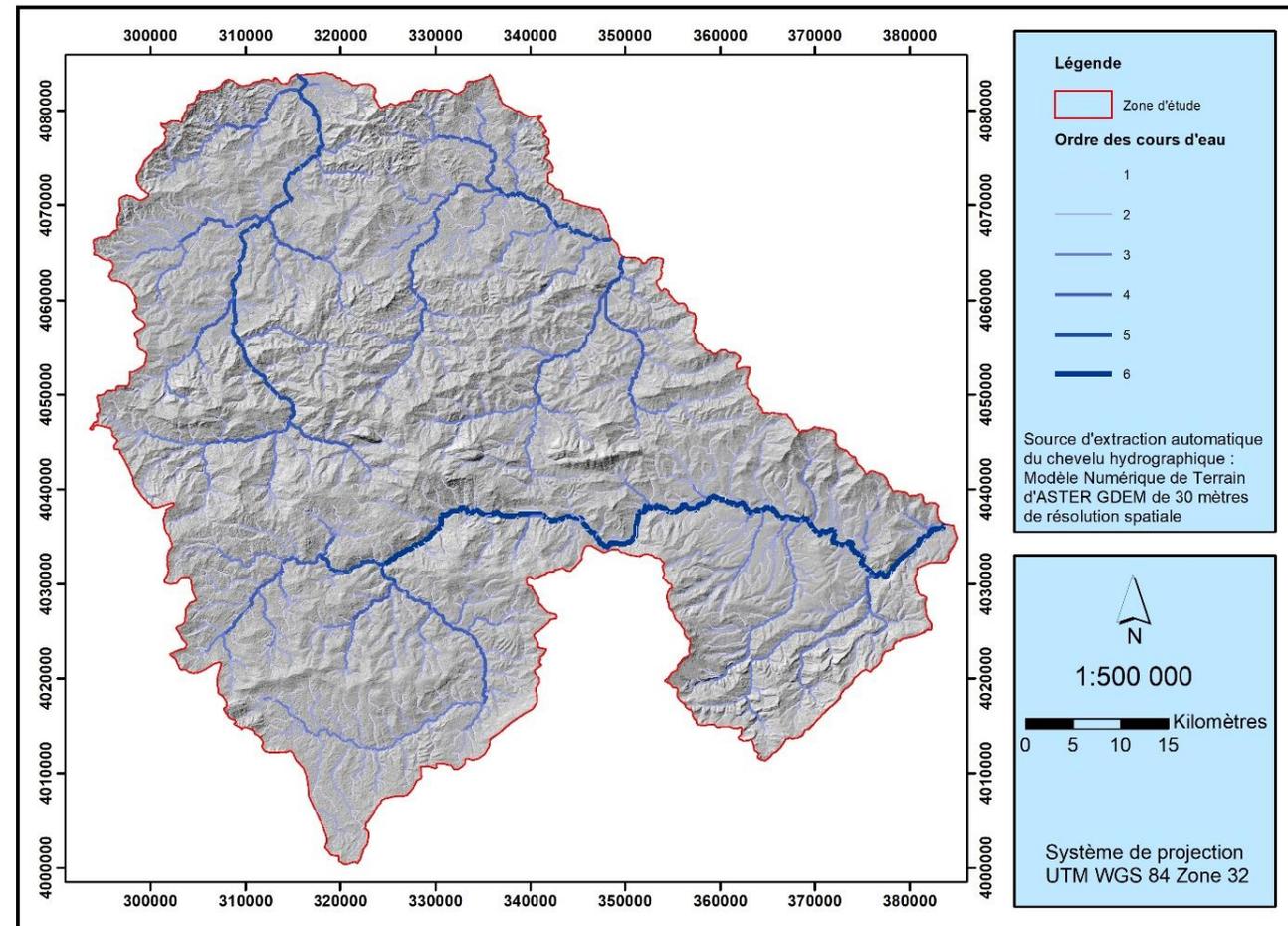
EXTRACTION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

- Données d'élévation du terrain d'ASTER GDEM acquises depuis le serveur de la NASA (résolution 28.33 mètres).
- Extraction du réseau hydrographique sous SIG consiste à choisir la direction d'écoulement d'une maille (pixel) vers les huit (08) mailles adjacentes selon laquelle la dénivelée est maximale.



Principe d'extraction du réseau hydrographique à partir d'un MNT

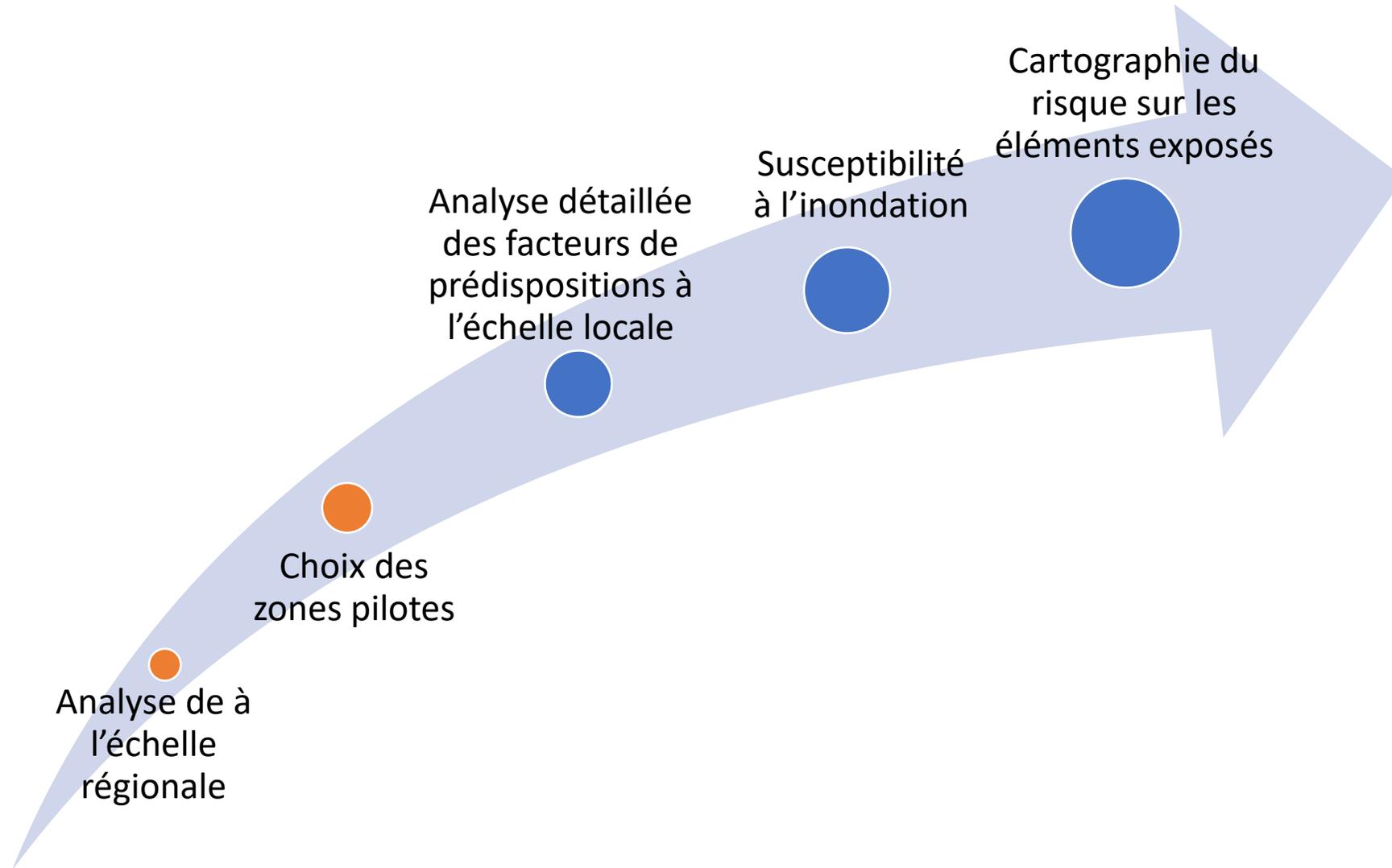
- Hiérarchisation du réseau hydrographique sur la base de la méthode Strahler (1957) → **importance des cours d'eau**
- La longueur totale des cours d'eau extraits → 3350 Km



Extraction et hiérarchisation du réseau hydrographique à partir du MNT



DÉMARCHE SCIENTIFIQUE





ANALYSE A L'ECHELLE RÉGIONALE

- Hypothèses de base :

- Les précipitations ont une variabilité saisonnière et sont considérées comme répartie de façon homogène sur l'espace de la zone d'étude
- La sismicité dépendant du temps (période de retour) est considéré homogène dans cette zone.
- La pente à une influence importante dans le déclenchement des glissement par rapport à la lithologie.

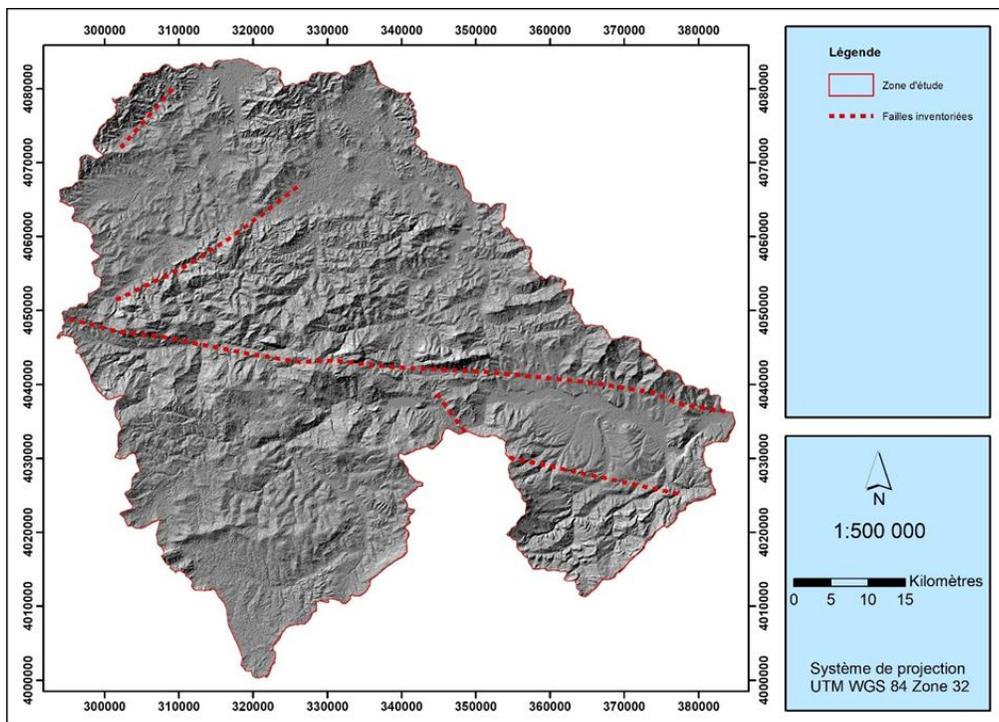
→ Cerner les paramètres les plus importants et ceux qui sont indépendants du facteur « temps ».

- Analyse de l'inondabilité par exposition du réseau hydrographique :

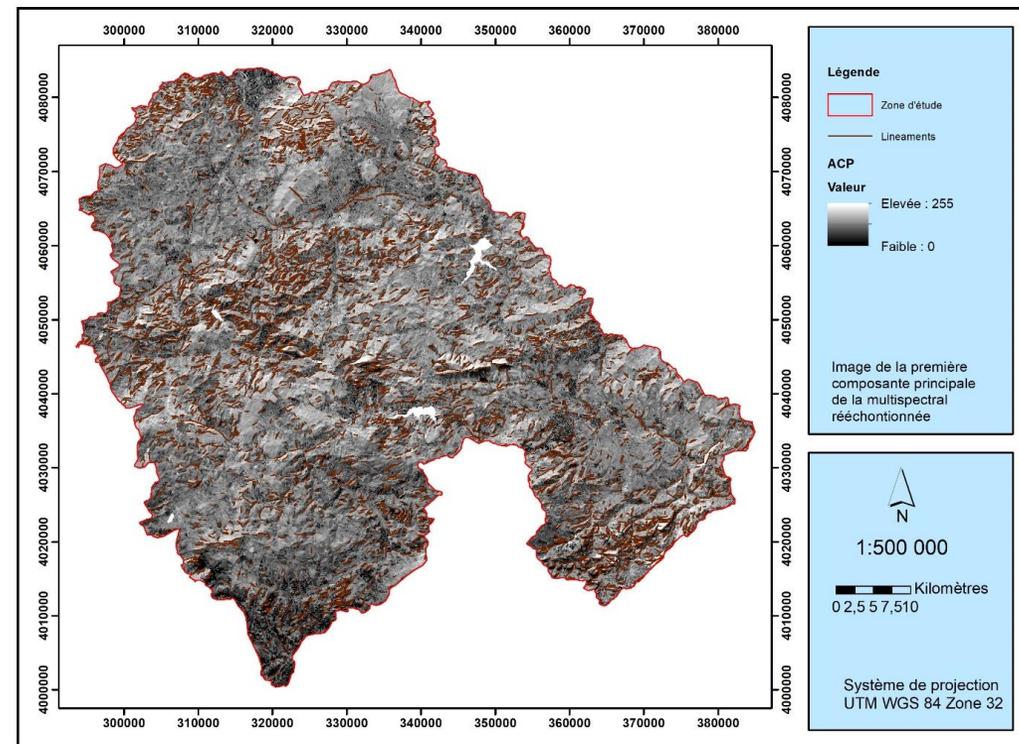
- au réseau de failles et linéaments
- aux pentes topographiques
- aux effets d'une éventuelle rupture de barrage

ANALYSE DE L'INONDABILITÉ PAR RUPTURE DE FAILLE

- Extraction des linéaments à partir d'une image satellitaire Landsat 8, dépourvue de nuages (0.32 % sur toute la scène), prise le 16/02/2019 (multispectrale de 30 mètres de résolution spatiale, et panchromatique de 15 mètres) → ACP → filtres de Sobel



Localisation des principales failles probablement actives localisées dans le secteur d'étude



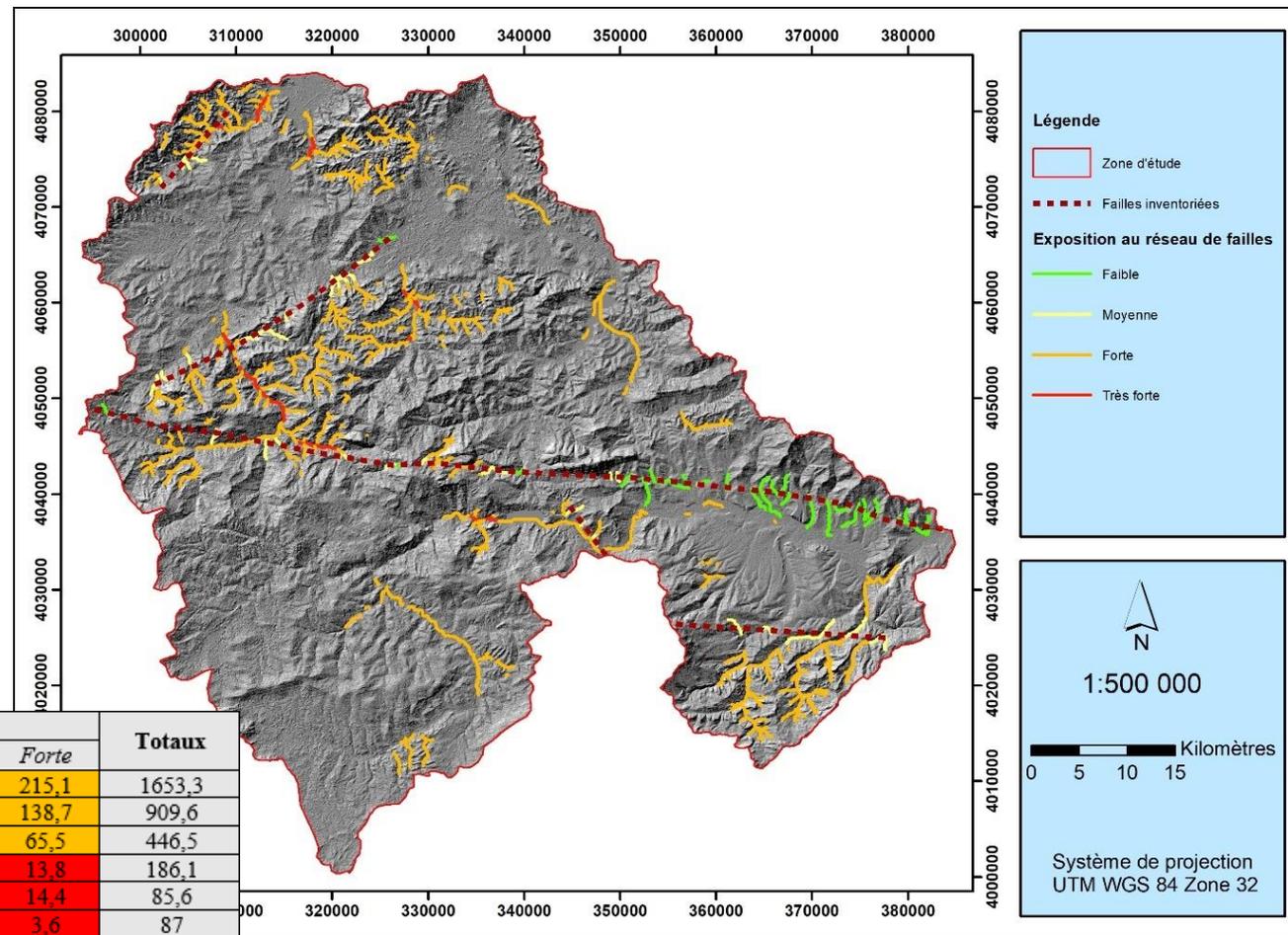
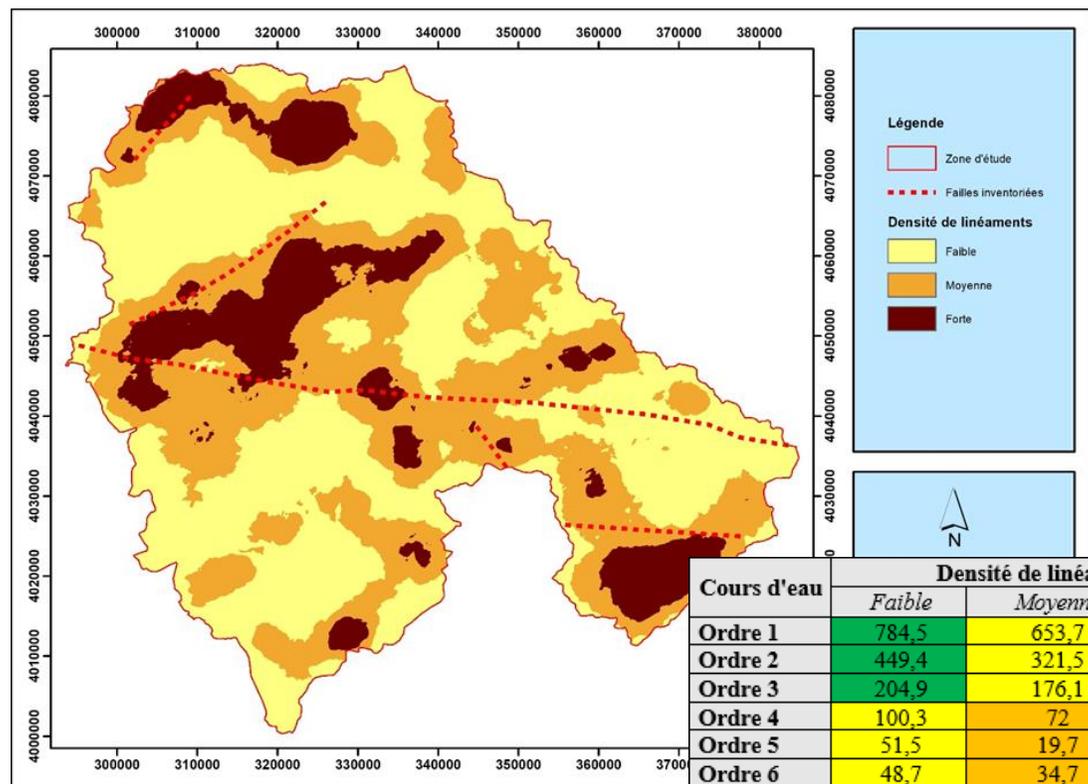
Carte linéamentaire de la région d'étude

- Les principales failles, dont la situation exacte à l'échelle local reste à déterminer, affectant le secteur d'étude et citées par travaux antérieurs et définies comme des failles probablement actives.



EXPOSITION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE AU RESEAU DE FAILLES ET DE LINEAMENTS

- Analyse spatiale en intersectant le réseau hydrographique hiérarchisé avec les différentes zones de densité de linéament et les failles inventoriées dans la zone.



Carte de densité de linéaments avec indication des failles probablement actives inventoriées

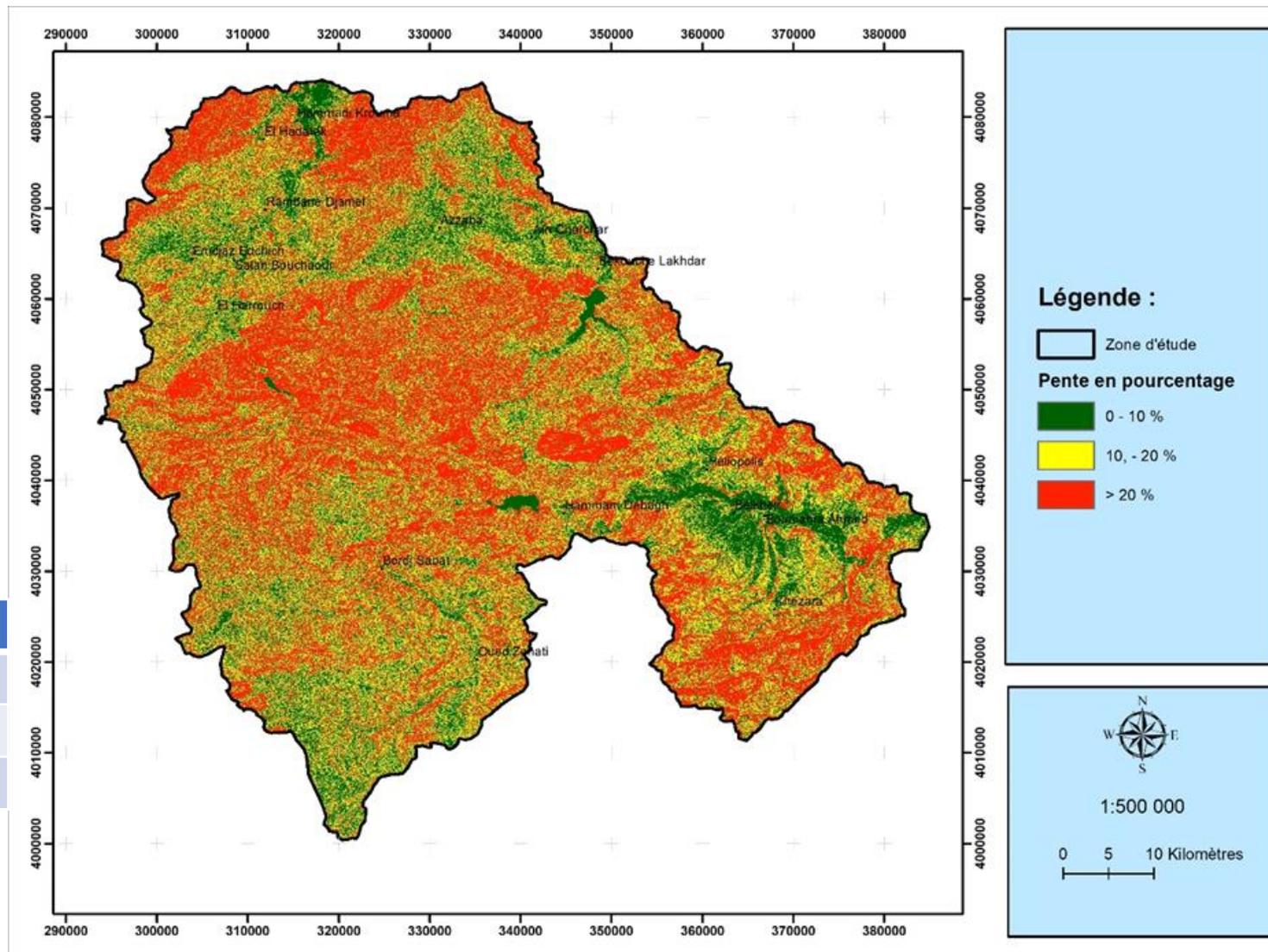
Les cours d'eau les plus exposés au réseau de linéament et aux failles inventoriées



ANALYSE DE L'INONDABILITÉ PAR GLISSEMENT DE TERRAIN

- On considère que la pente représente le paramètre le plus important dans le déclenchement des glissements de terrain induit par séisme.
- La carte des pentes est réalisée à partir des données du MNT et montre une prédominance de la classe dont la pente est supérieure à 20 %, qui occupe 41.7% de la surface totale soit 1762 km².

#	Classe de pente	Nombre de pixel	Superficie	Pourcentage
1	De 0 à 10 %	1209949	971.2	23%
2	De 10 à 20 %	1859713	1492.8	35.30%
3	Plus de 20 %	2195023	1762	41.70%



Carte des pentes issues du MNT



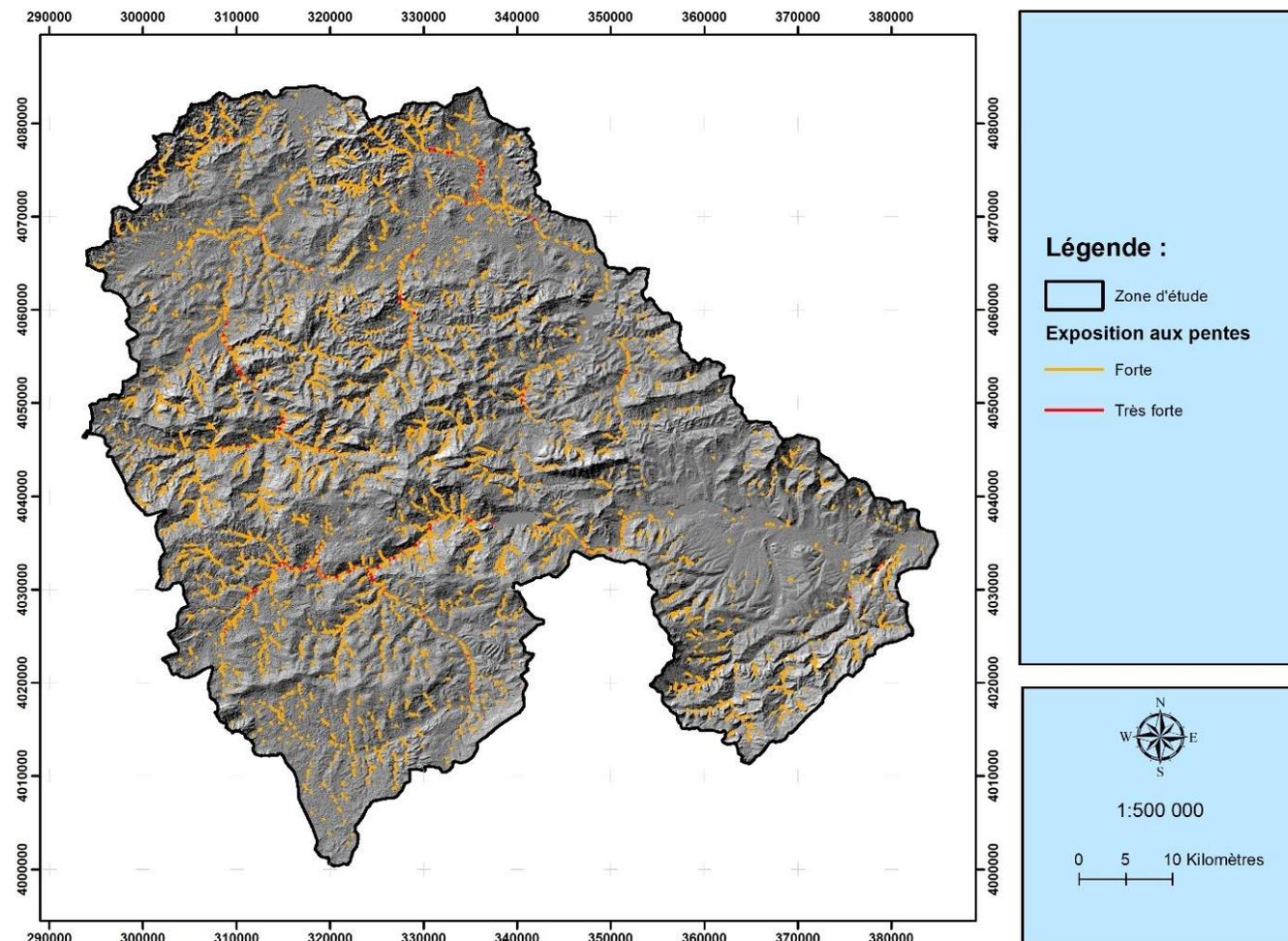
EXPOSITION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE AUX PENTES TOPOGRAPHIQUES

- Analyse spatiale en intersectant le réseau hydrographique hiérarchisé avec les classes de pente .

Cours d'eau	Classe de pente		
	Faible (0 à 10%)	Moyenne (10 à 20%)	Forte (> 20%)
Ordre 1	875.8 Km	616.4 Km	204.3 Km
Ordre 2	519.6 Km	302.7 Km	84.7 Km
Ordre 3	280.9 Km	125.3 Km	37.9 Km
Ordre 4	115.0 Km	55.0 Km	15.1 Km
Ordre 5	57.9 Km	19.6 Km	7.3 Km
Ordre 6	68.1 Km	13.3 Km	3.4 Km
TAUX	56.40 %	33.30 %	10.40 %

➔ Les classes de faible et moyenne exposition représentent près de 87% de la longueur totale des cours d'eau.

➔ Les classes de forte et très forte exposition représente 12.2% et 0.8% respectivement. ➔ représentent les cours d'eau les plus exposées aux effets de la pente.



Les cours d'eau les plus exposées aux effets des pentes



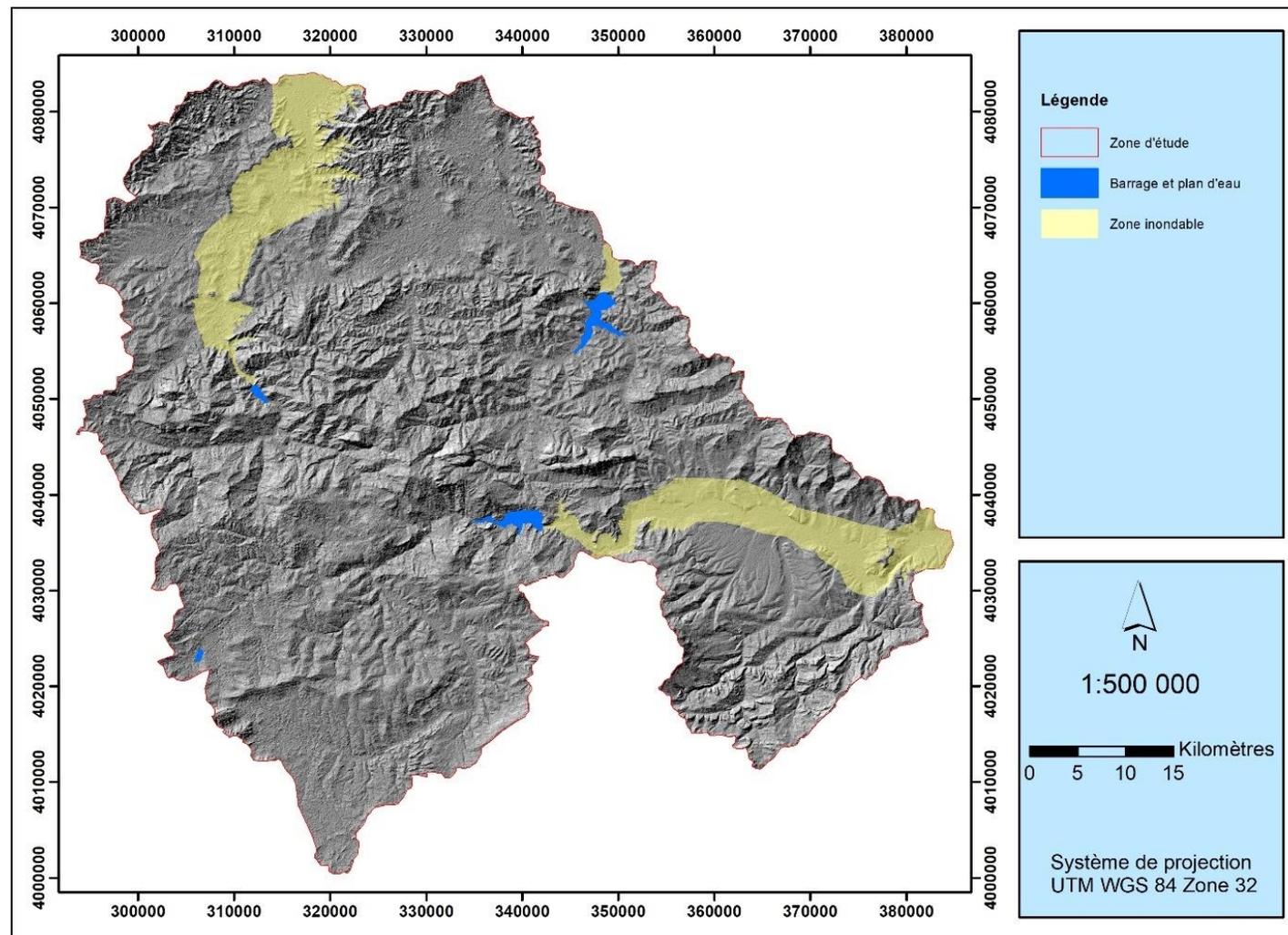
ANALYSE DE L'INONDABILITÉ PAR RUPTURE DE BARRAGE

- Cartographie des zones inondables par les effets d'une rupture de barrage consiste à définir la zone qui pourrait être inondée en aval et ce par des considérations topographiques calculées en utilisant la côte de la base du barrage.

#	Barrage	Wilaya	Type	Cours d'eau	Sous-bassin versant	Capacité en Hm ³	Côte des plus hautes eaux
1	Hammam Debagh	Guelma	Poids	Bou Hamdane	1403	200	370 m
2	Zit Emba	Skikda	Poids	El Hammam	0311	117	91 m
3	Zerdazas	Skikda	Poids + Béton	Haut Safsaf	0309	31	190 m

- Cette zone inondable théorique peut varier considérablement en fonction :

- ➔ Type de rupture (partielle ou totale)
- ➔ Mode de rupture (graduelle ou brutale)
- ➔ Taux de remplissage du barrage
- ➔ Conditions climatiques au moment de rupture



Carte des zones topographiques inondables par les effets de rupture des barrages

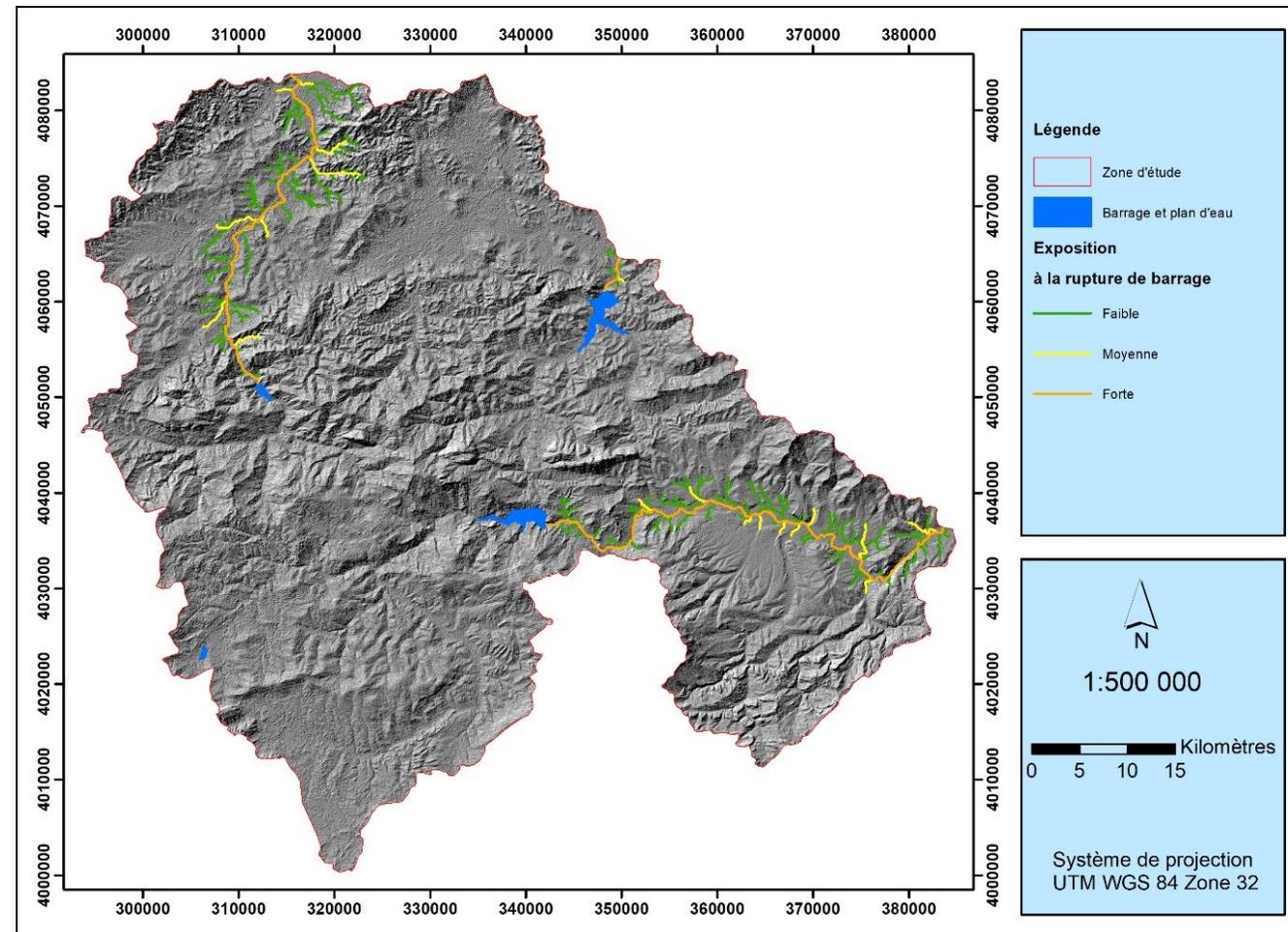


EXPOSITION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE AUX EFFETS D'UNE RUPTURE DE BARRAGE

- L'exposition du réseau hydrographique aux effets d'éventuelle rupture de barrage a été analysé sous un SIG. Pour cela, on cherche les cours d'eau qui pourront connaître une crue significative suite à la libération soudaine des eaux emmagasinés dans les barrages.

Classification des cours d'eau intersectant les zones inondables par rupture de barrage

Ordre des cours d'eau	Plaine inondable du barrage :			Total pour chaque classe	Taux
	Hamam Debagh	Zit Emba	Zerdazas		
Ordre 1	85.3	5.3	82.0	271.4 Km	61.3 %
Ordre 2	50.1	0.0	48.7		
Ordre 3	23.2	1.1	16.7	57 Km	12.9 %
Ordre 4	2.2	0.0	13.8		
Ordre 5	0.0	4.6	45.5	114.4 Km	25.8 %
Ordre 6	64.2	0.0	0.0		
Total	225.1 Km	11.0 Km	206.7 Km	442.8 Km	
Taux	50.8 %	2.5 %	46.7 %		



Carte d'exposition du réseau hydrographique aux effets des ruptures de barrage



CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISME

- 4 scénarios de combinaison de l'exposition des réseau hydrographique aux facteurs d'inondations
 - (1) Effets combiné des pentes et des ruptures de barrage
 - (2) Effets combiné des failles et des ruptures de barrage
 - (3) Effets combiné des pentes et des failles
 - (4) Effets combiné des pentes, des failles et des ruptures de barrage

Degrés d'exposition	Faible (1)	Moyenne (2)	Forte (3)	Très forte (4)
Faible (1)	1	2	3	4
Moyenne (2)	2	4	6	8
Forte (3)	3	6	9	12
Très forte (4)	4	8	12	16

Classification du potentiel d'inondabilité suivant une combinaison de facteur d'exposition

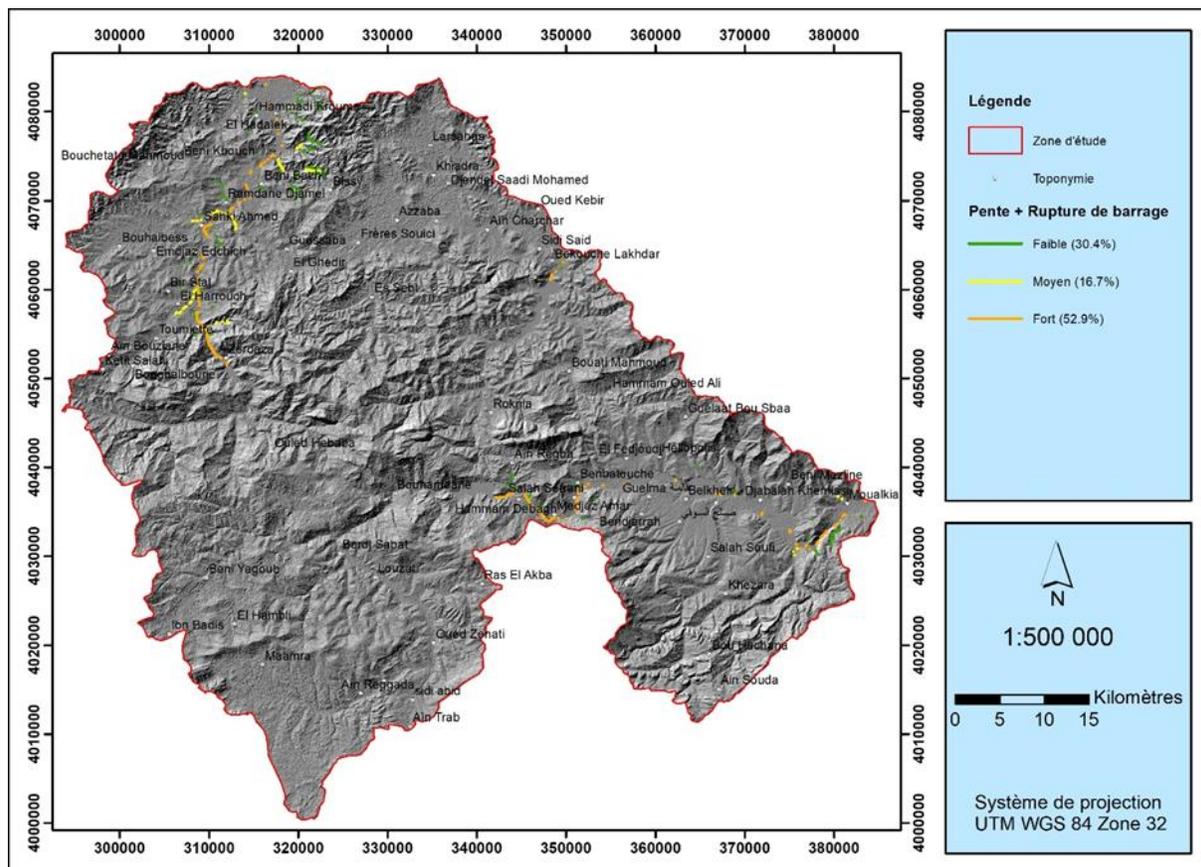
		Gravité			
		1	2	3	4
Fréquence	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4

Matrice des risques : outil permettant le calcul du niveau de criticité des risques



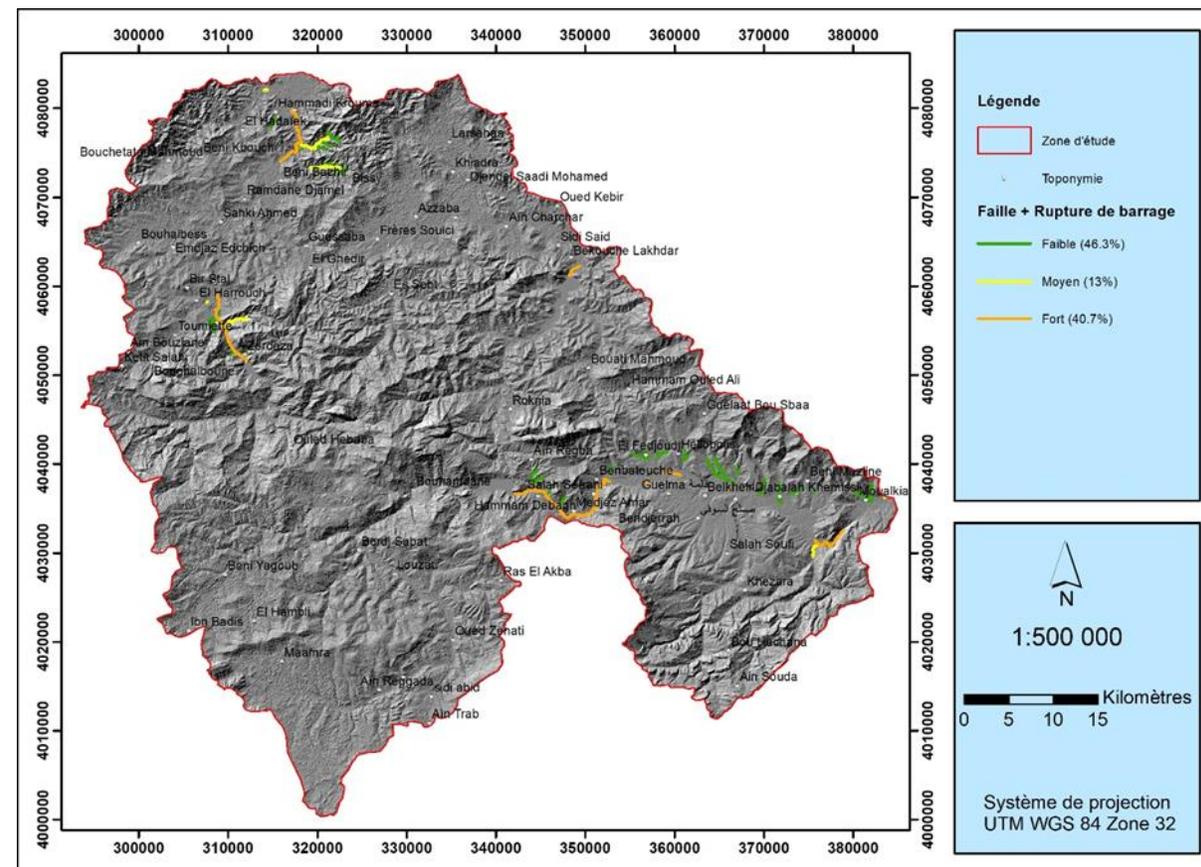
RÉSULTAT DE LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL D'INONDATION

Scénario (1)



Carte du potentiel d'inondabilité par les effets combinés des pentes et des ruptures de barrage

Scénario (2)

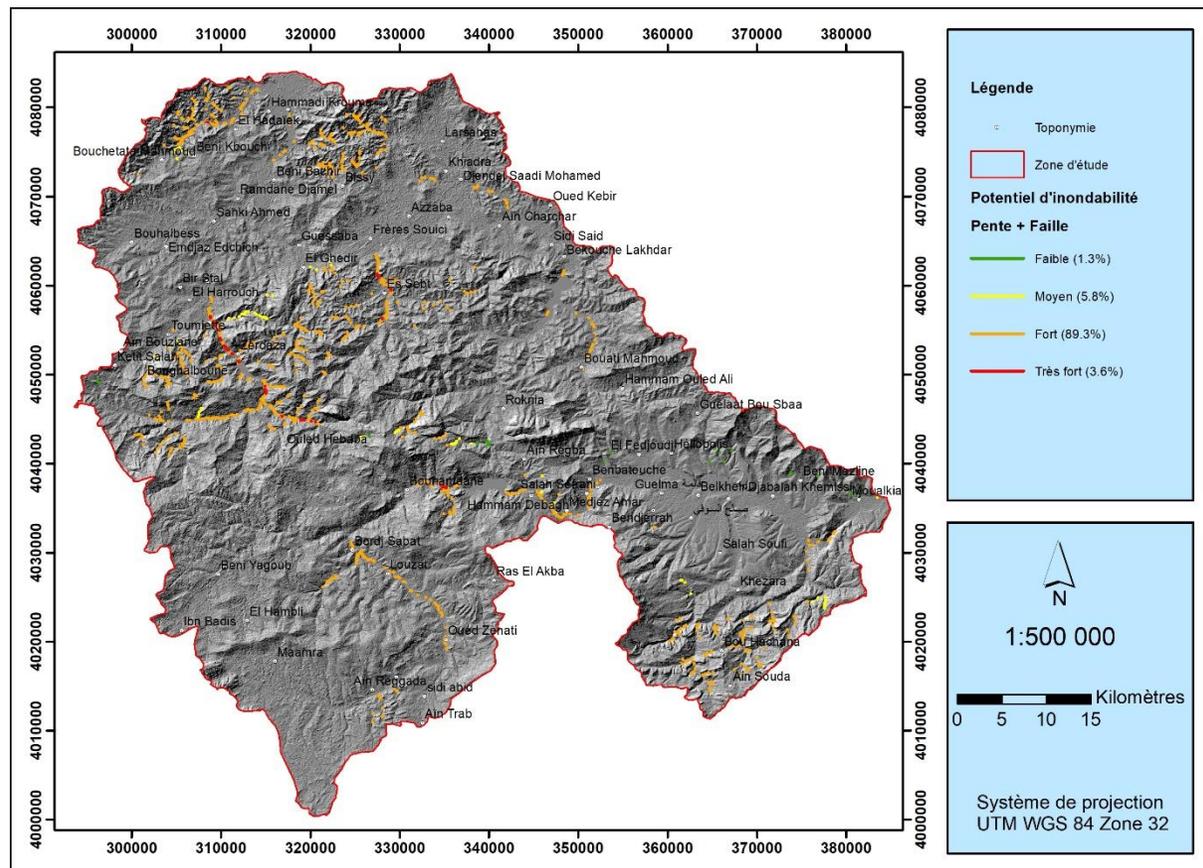


Carte du potentiel d'inondabilité par les effets combinés des failles et des ruptures de barrage



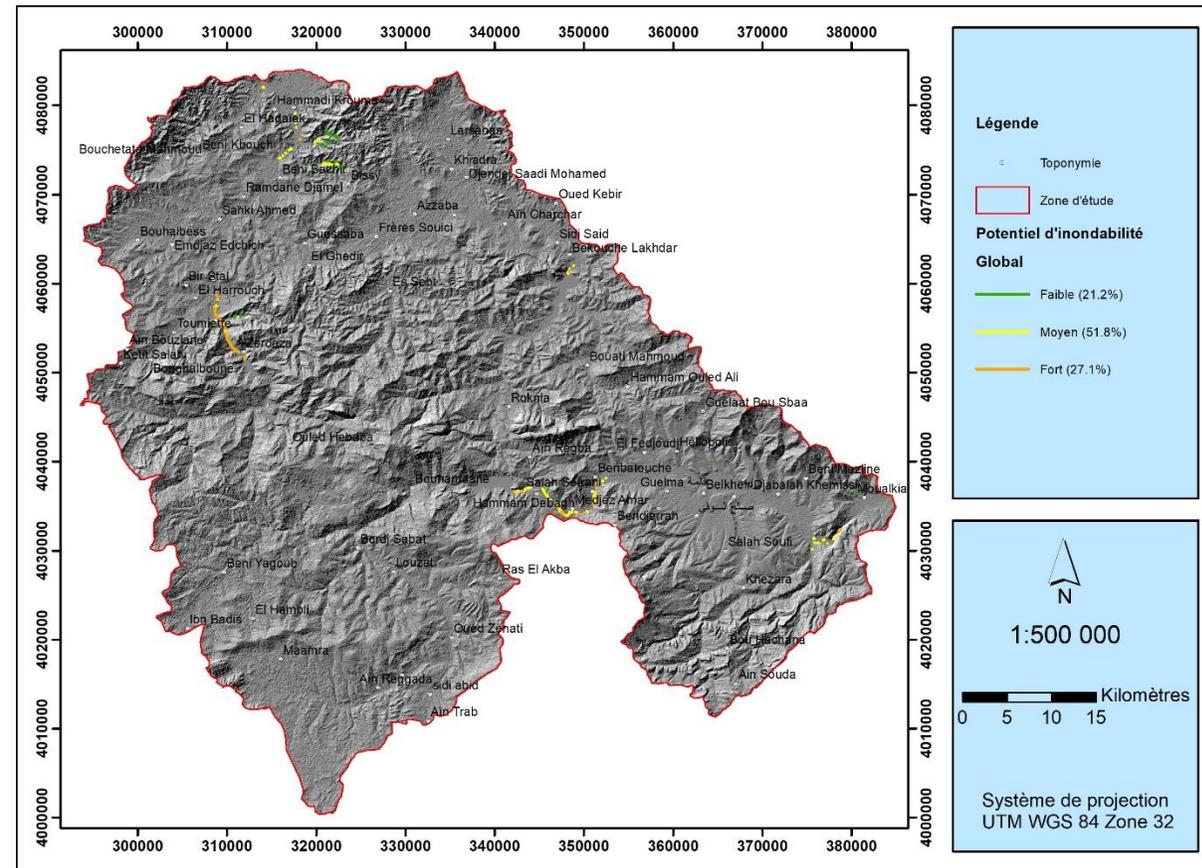
RÉSULTAT DE LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL D'INONDATION

Scénario (3)



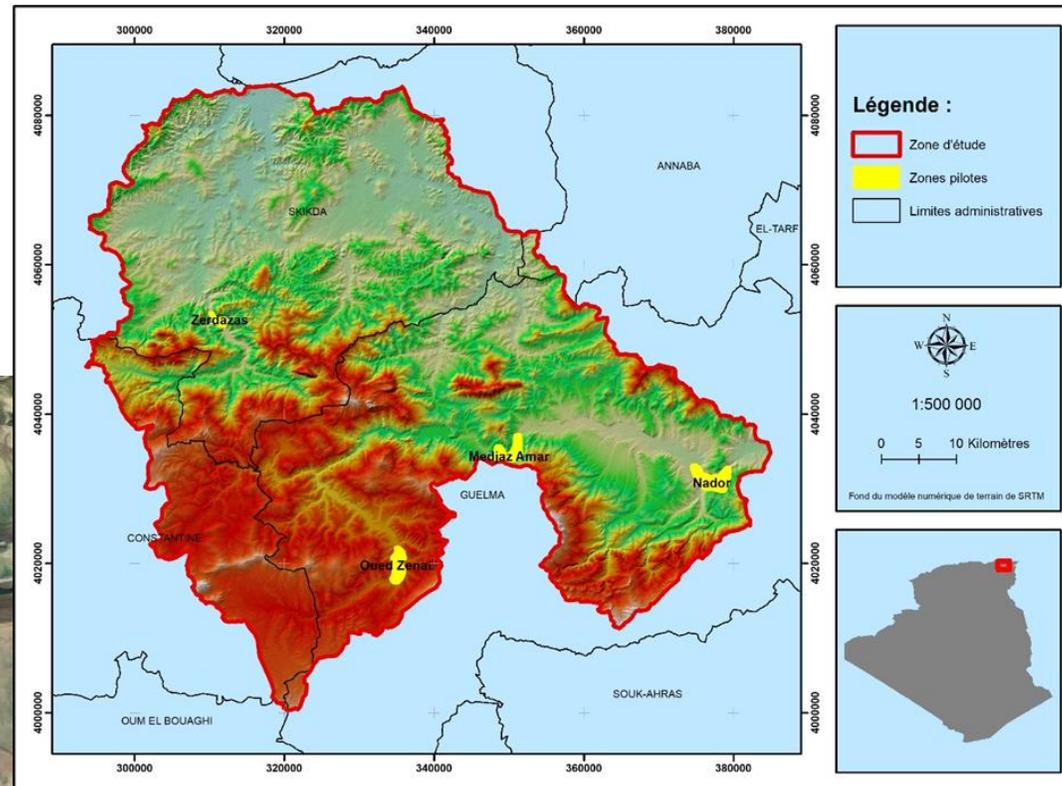
Carte du potentiel d'inondabilité par les effets combinés des pentes et des failles

Scénario (4)



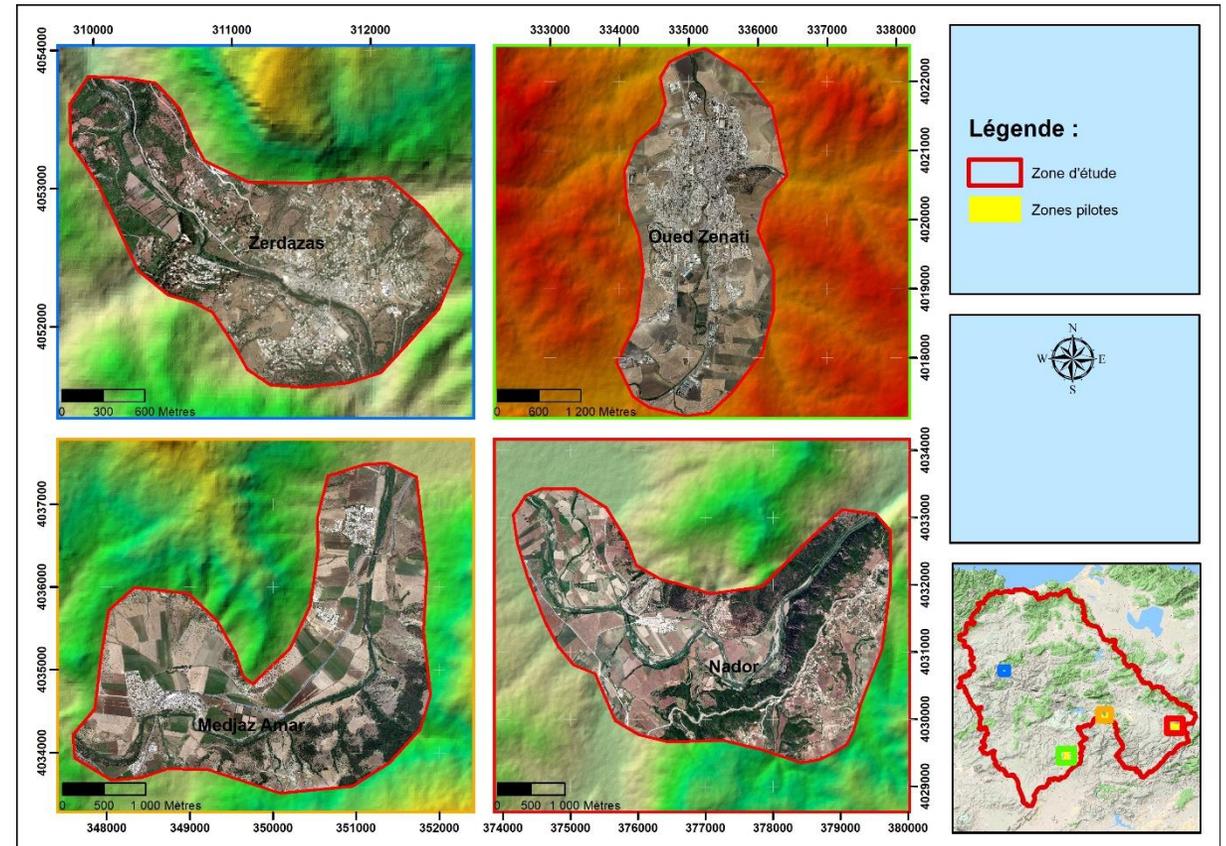
Carte du potentiel d'inondabilité global par combinaison de tous les facteurs

IDENTIFICATION DES ZONES PILOTES



ZONES PILOTES

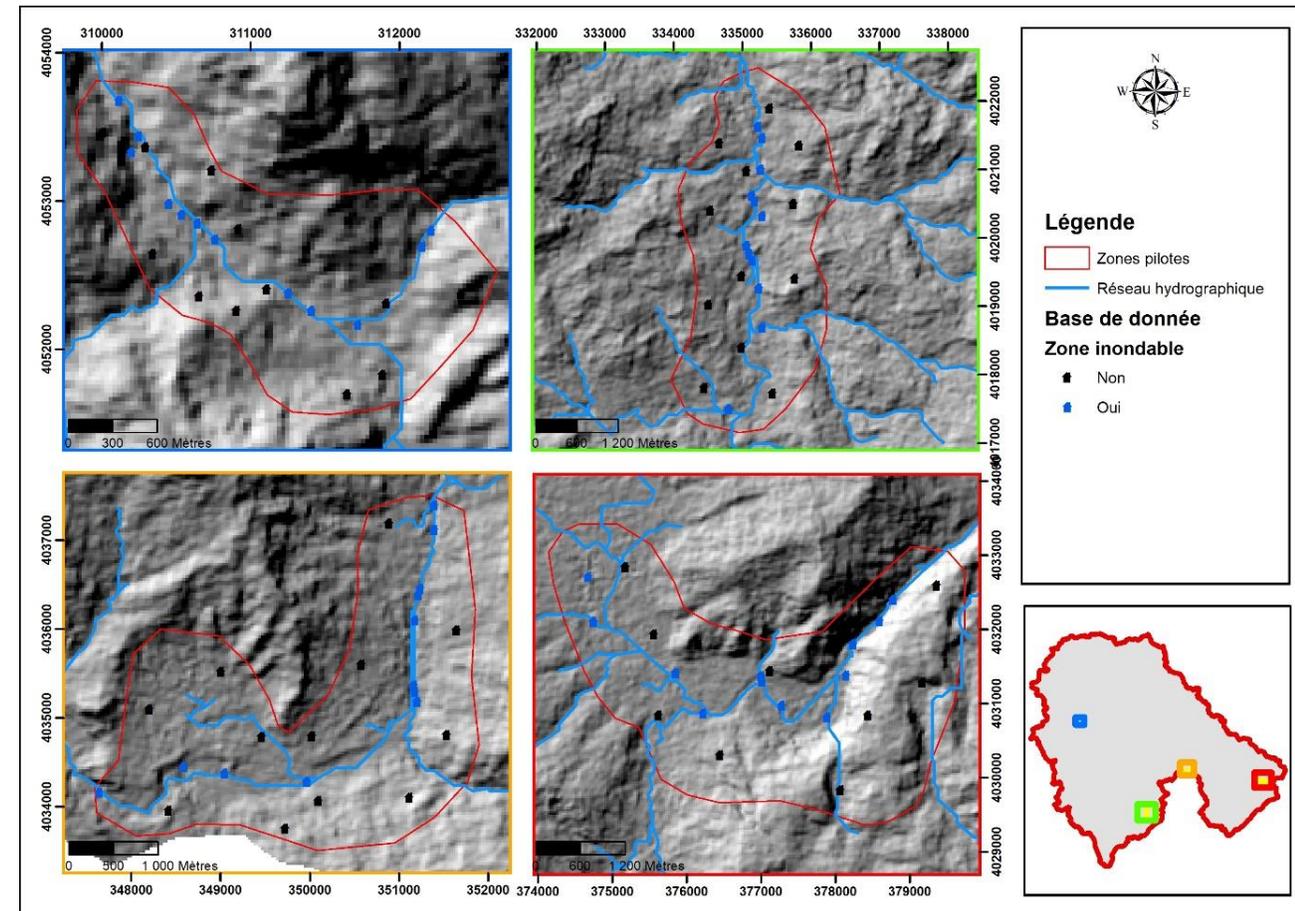
- La délimitation de la zone pilote à l'échelle locale est réalisé en centrant sur le cours d'eau principal et en veillant à inclure tous les éléments pouvant être exposé à l'aléa d'inondation comme les habitations et les infrastructures de base.
- Les zones concernées par cette étude détaillée ont une superficie totale de **36.3 km²**
 - Nador → 13.95 km²
 - Medjaz Amar → 9.78 km²
 - Oued Zenati → 9.25 km²
 - Zerdazas → 3.32 km²



Les cours d'eau les plus exposés au réseau de linéament et aux failles inventoriées

MÉTHODOLOGIE ET BASE DE DONNÉE

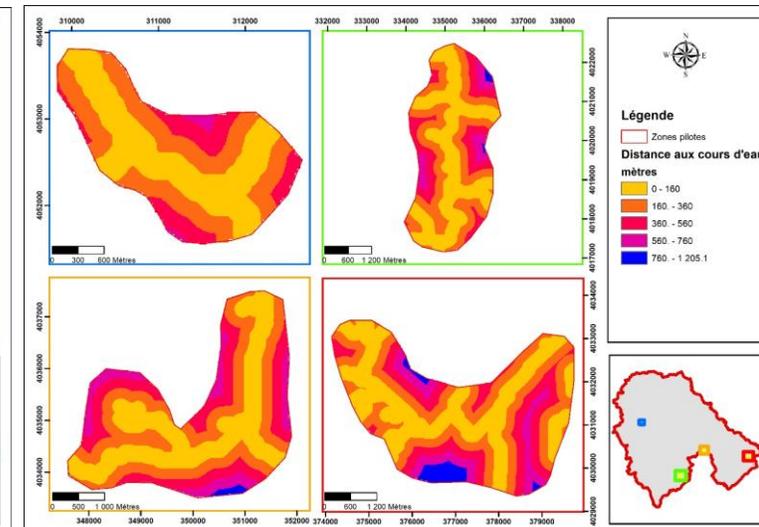
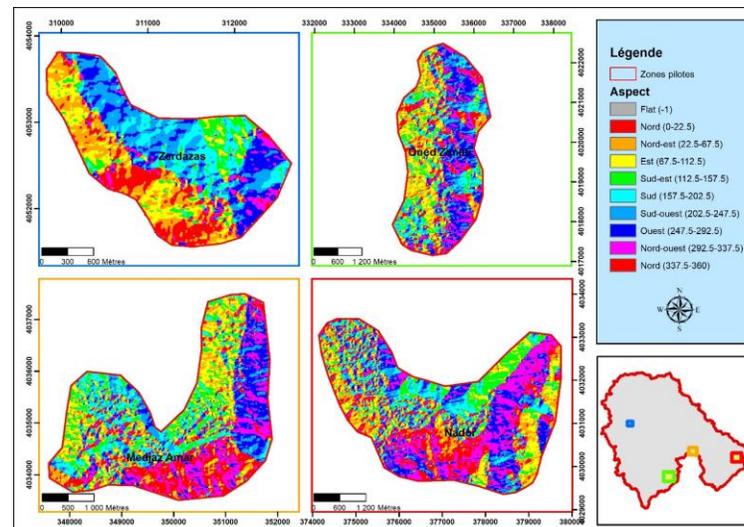
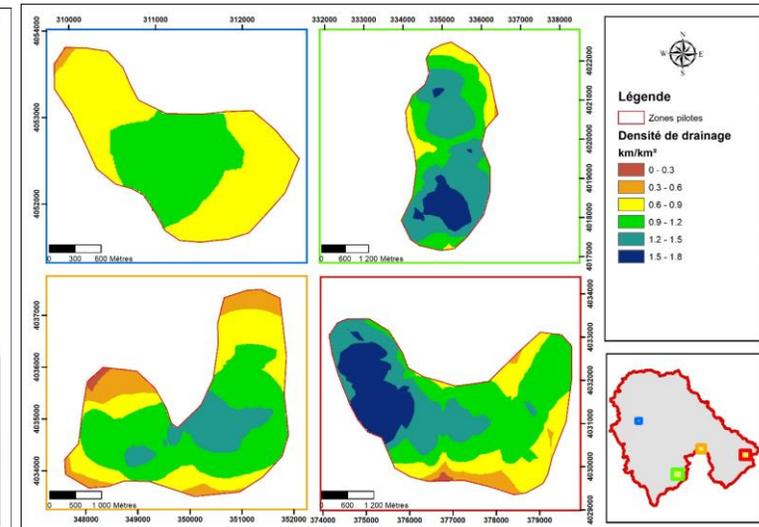
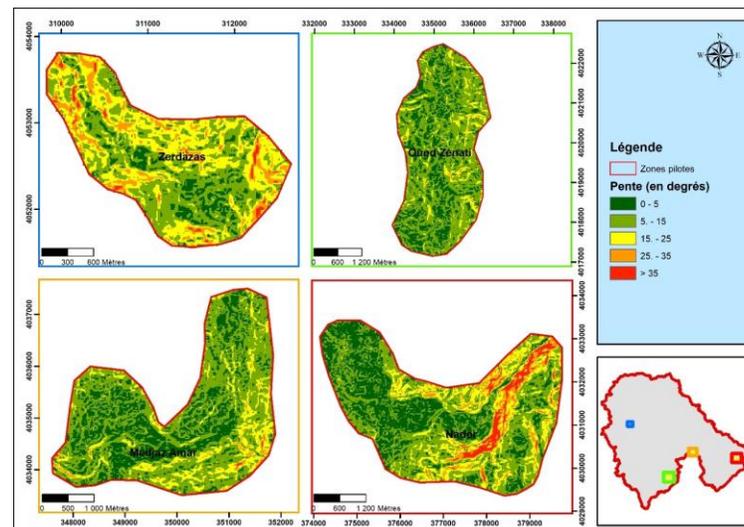
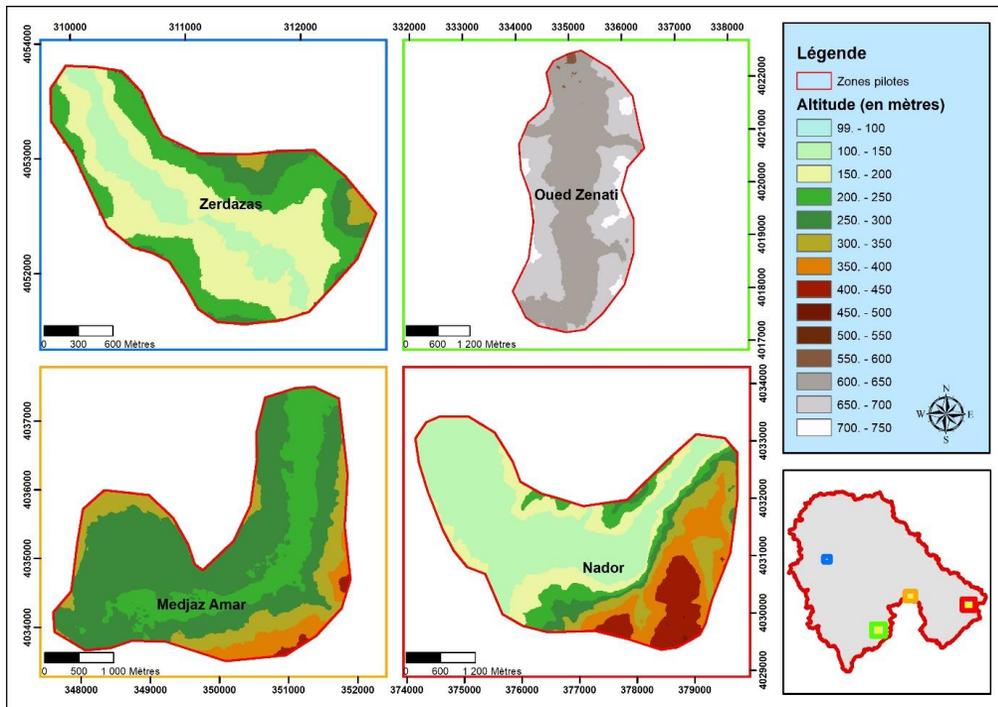
- Recherche d'un MNT de haute résolution :
 - ALOS POLSAR (12,5 mètre) → couvre uniquement une partie de la zone de Nador
 - Rééchantonnage du MNT SRTM de 28 mètres à 12 mètres de résolution au niveau des zones pilotes
- Discrétisation des zones d'étude en mailles carrées correspondant aux pixels du MNT rééchantonné
- Nombre totale = 252 094 mailles
- Construction d'une base de données des zones inondables renfermant les zones identifiées par l'analyse régionale, les endroits ayant connu un débordement historique et les endroits pouvant obstruer un cours d'eau après un séisme (comme les ponts) → 48 points.
- Pour des raisons d'analyse par apprentissage automatique, nous avons généré 48 autres points aléatoirement et identifiés comme zone non inondable.



Base de données des zones inondables et non inondables sur un MNT rééchantonné à 12 mètres

FACTEURS GEOMORPHOLOGIQUES

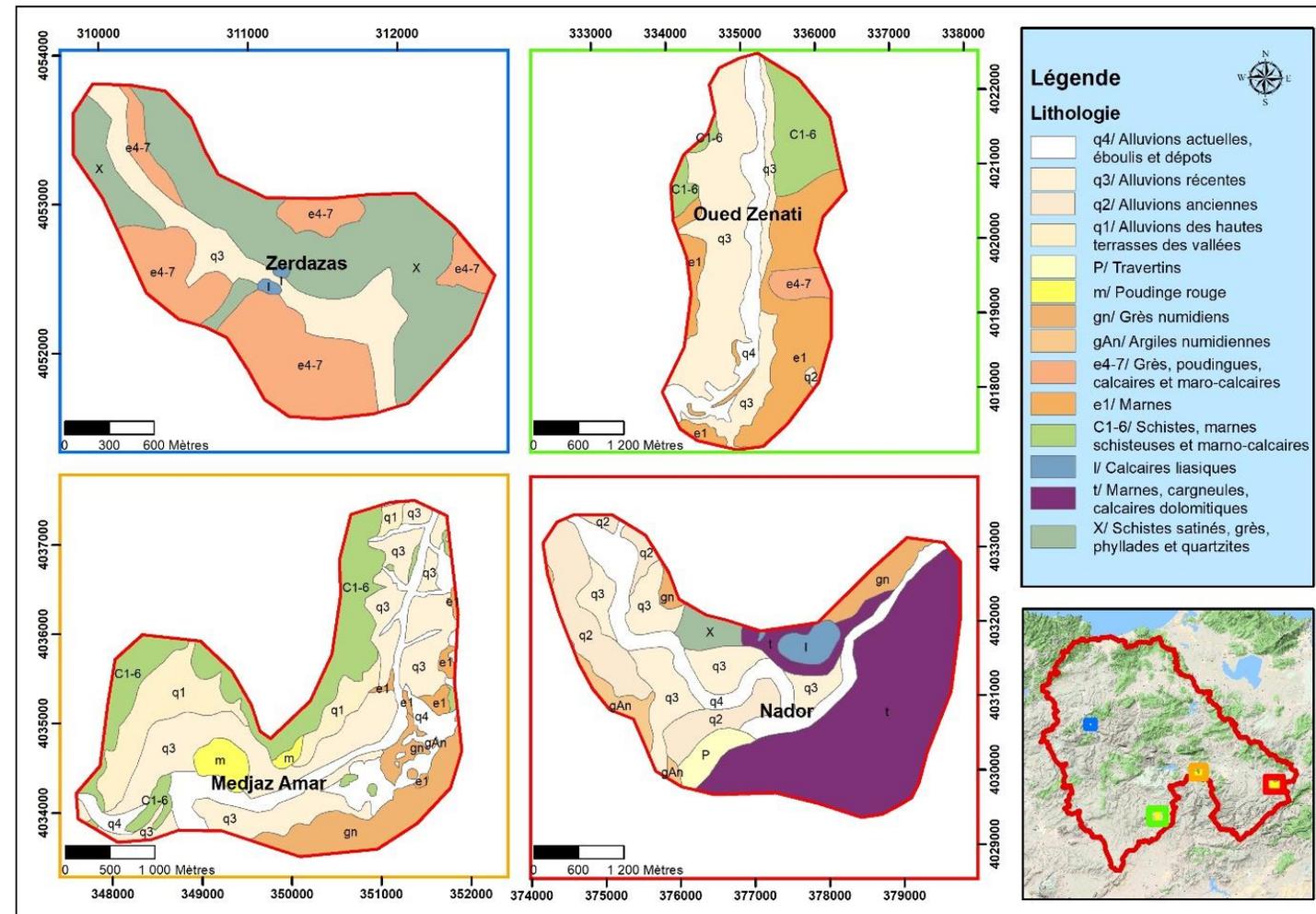
- Cartes dérivées du MNT rééchantonné :



Cartes d'altitude, de pente, d'exposition des versants, de la densité de drainage et de la distance aux cours d'eau

FACTEURS GEOLOGIQUES ET TECTONIQUES

- Lithologie issue des cartes géologiques au 50 000 ème.
- Conversion en raster sur la base du MNT utilisé.
- Vérification sur le terrain de la lithologie et de certain linéaments par la prospection électrique.

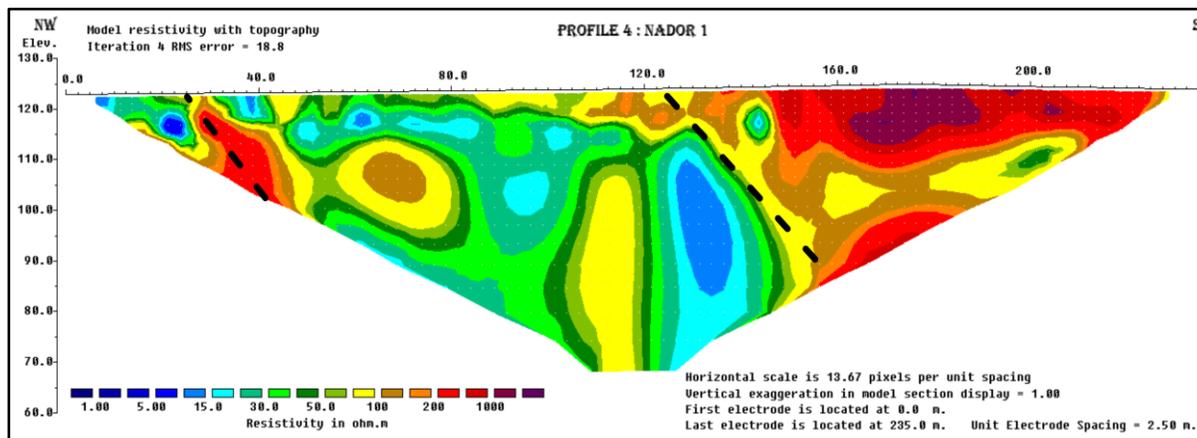
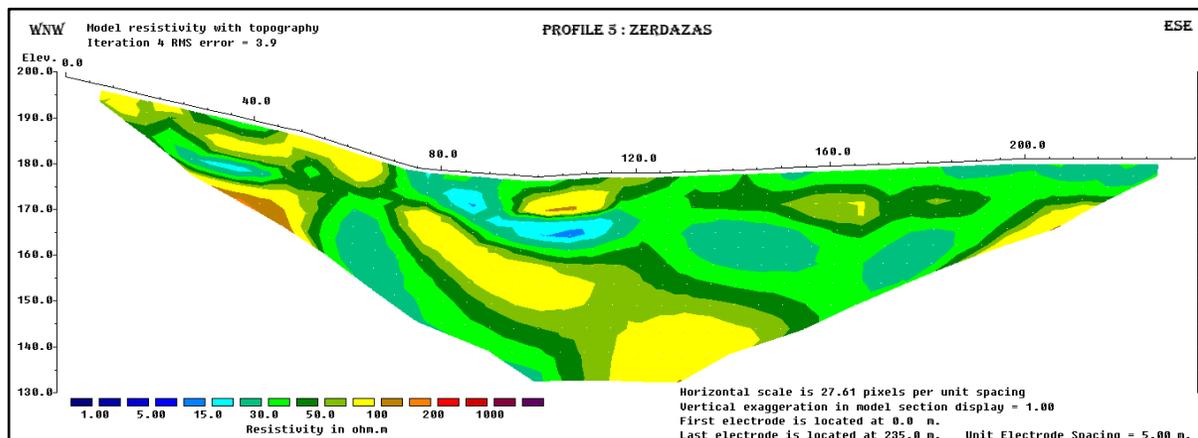
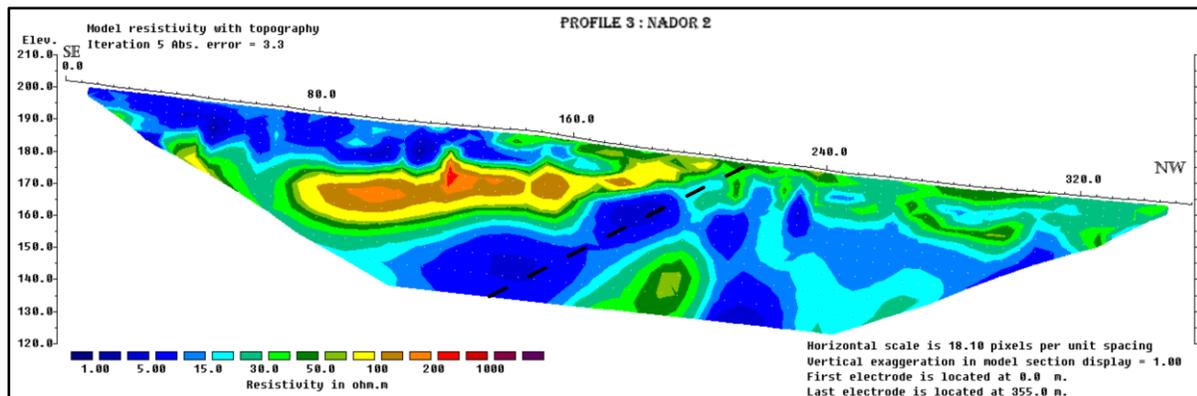
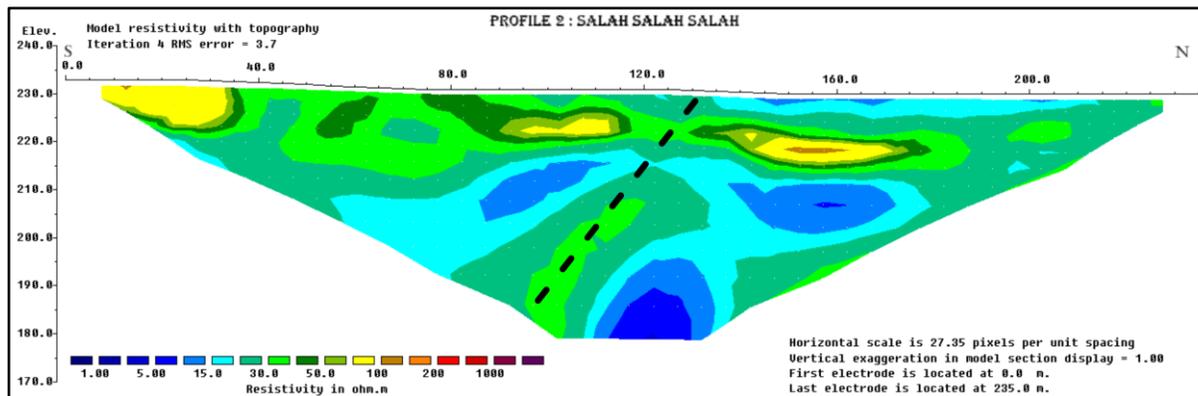
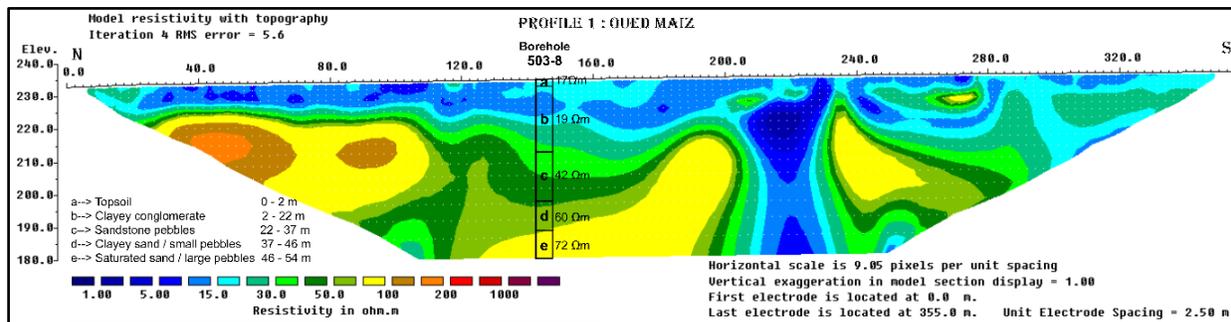


Cartes de la lithologie des quatre sites pilotes



FACTEURS GEOLOGIQUES ET TECTONIQUES

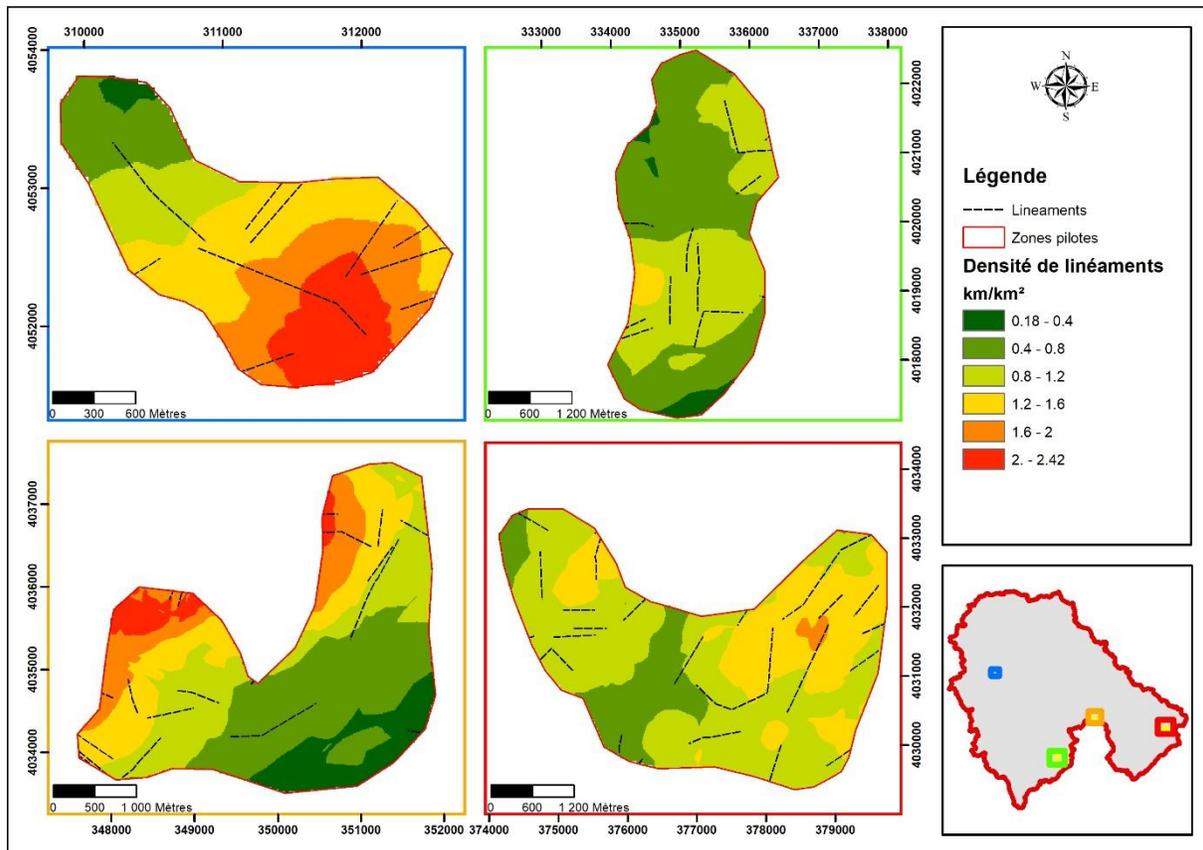
- Campagne géophysique



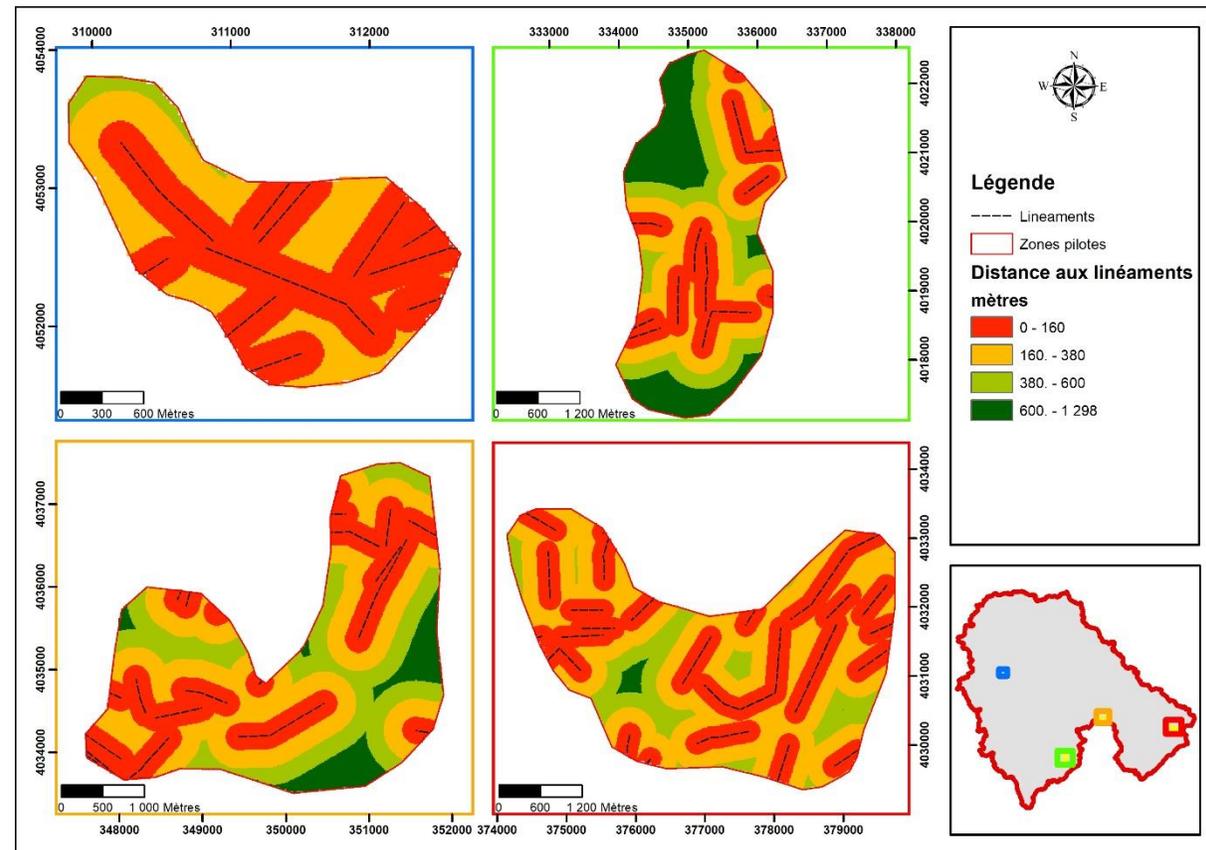


FACTEURS GEOLOGIQUES ET TECTONIQUES

- Cartes dérivées des linéaments :



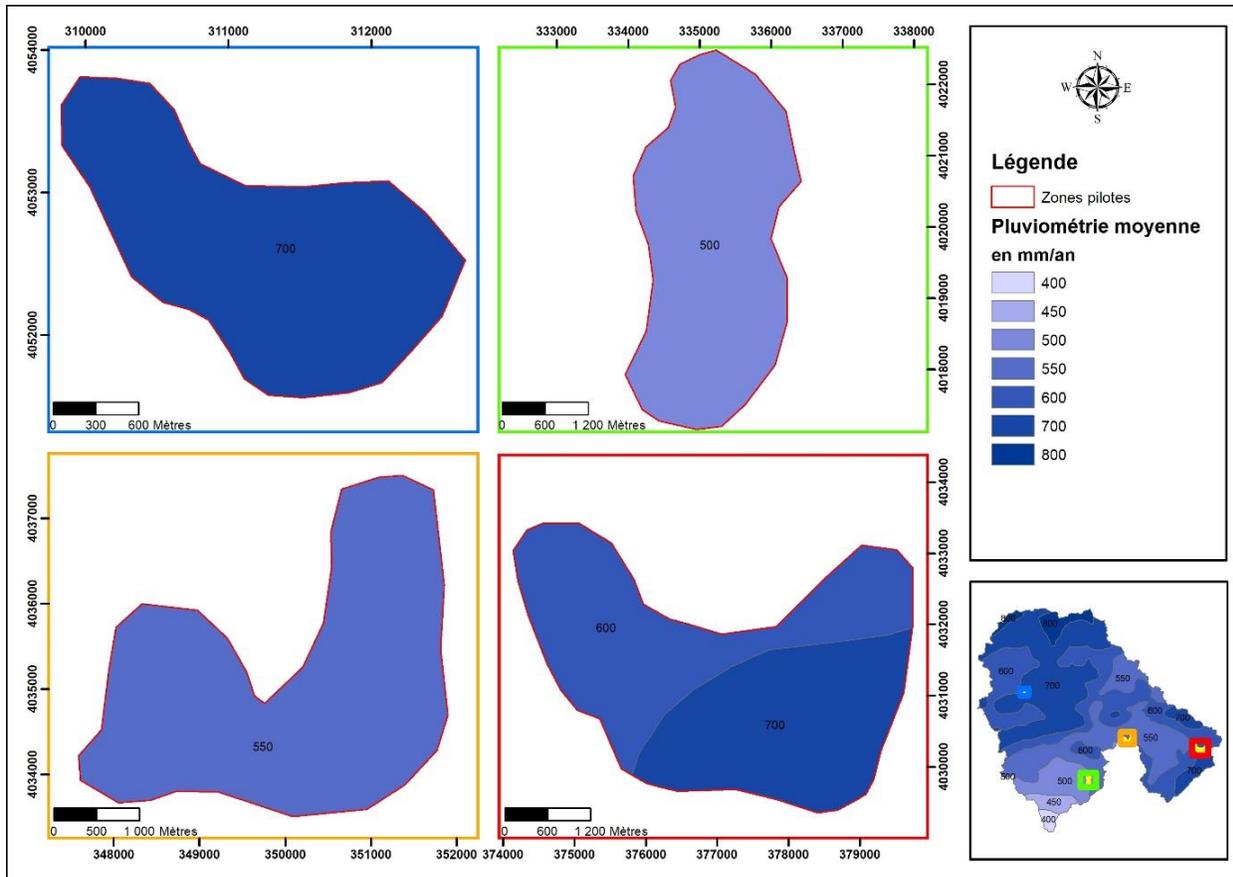
Cartes de la densité de linéaments au niveau des sites pilotes



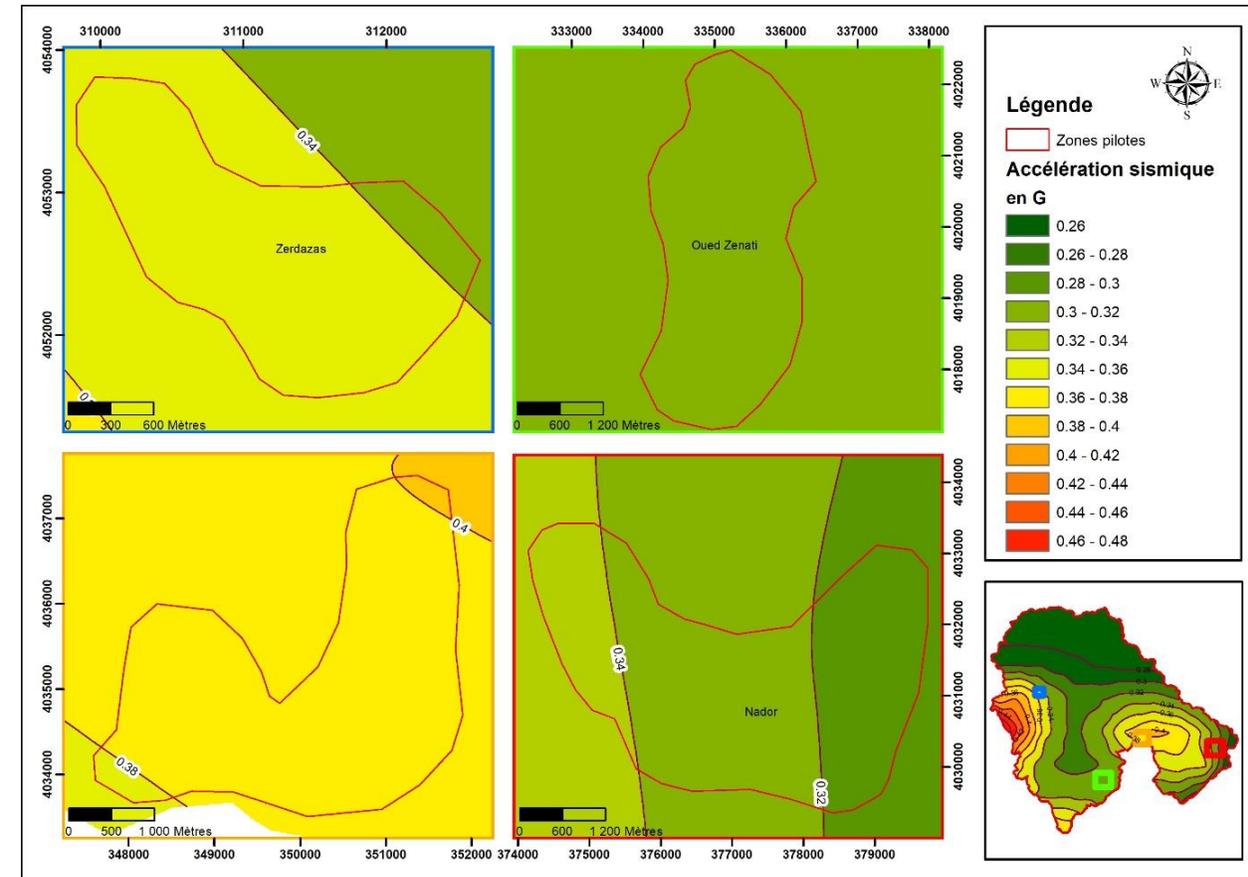
Cartes de la distance aux linéaments dans les zones pilotes



FACTEURS CLIMATIQUE / SISMIQUE



Cartes des précipitations moyennes annuelles des zones pilotes (Source : ANRH)



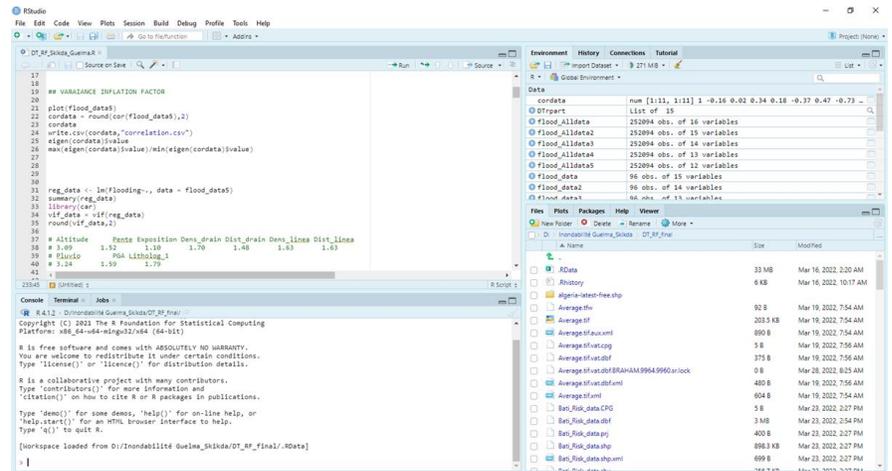
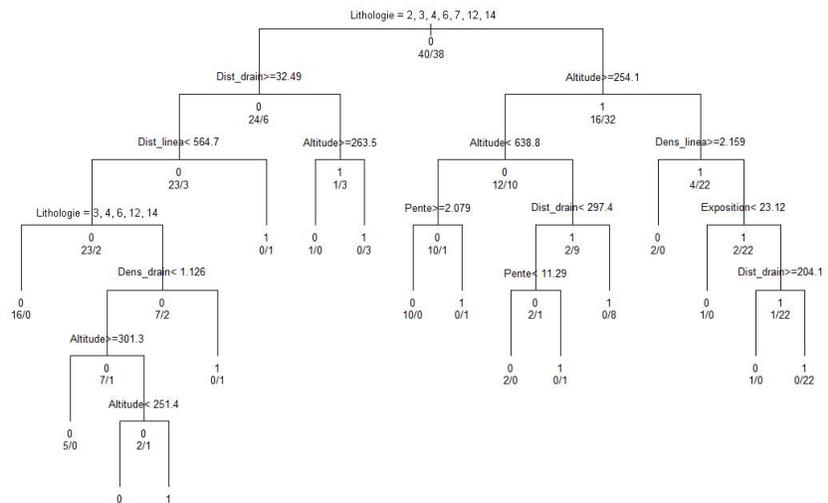
Cartes des iso accélérations sismiques des quatre sites pilotes



CARTOGRAPHIE PREDICTIVE

- MODELE STATISTIQUE
 - ➔ RAPPORT DE FREQUENCE (FREQUENCY RATIO « FR »)
- MODELE D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE (MACHINE LEARNING)
 - ➔ ARBRE DE DÉCISION (DECISION TREE « DT »)
 - ➔ FORÊT ALÉATOIRE (RANDOM FOREST « FR »)

Facteur	Numéro classe	Classe	% occupé par classe	% zone inondable	Rapport de fréquence FR
Altitude	1	< 180	25.09	45.83	1.83
	2	180-260	18.66	29.17	1.56
	3	260-340	19.92	0.00	0.00
	4	340-450	10.81	0.00	0.00
	5	450-640	10.26	22.92	2.23
	6	> 640	15.27	2.08	0.14
Pente	1	0-5	27.50	35.42	1.29
	2	5-15	51.55	60.42	1.17
	3	15-25	15.17	2.08	0.14
	4	25-35	4.14	2.08	0.50
	5	>35	1.64	0.00	0.00
Aspect	1	Plat	0.09	0.00	0.00
	2	Nord	12.92	6.25	0.48
	3	Nord-Est	11.37	14.58	1.28
	4	Est	13.46	12.50	0.93
	5	Sud-Est	11.15	10.42	0.93
	6	Sud	10.63	22.92	2.16
	7	Sud-Ouest	10.27	16.67	1.62
	8	Ouest	15.22	6.25	0.41
	9	Nord-Ouest	14.89	10.42	0.70
Densité de drainage	1	0 - 0.3	0.36	0.00	0.00
	2	0.3 - 0.6	5.14	6.25	1.22
	3	0.6 - 0.9	22.50	25.00	1.11
	4	0.9 - 1.2	37.72	33.33	0.88
	5	1.2 - 1.5	24.43	27.08	1.11
	6	1.5 - 1.8	9.85	8.33	0.85
Distance to river	1	< 160	38.53	97.92	2.54
	2	160 - 360	33.47	0.00	0.00
	3	360 - 560	18.35	2.08	0.11
	4	560 - 760	7.76	0.00	0.00
	5	> 760	1.89	0.00	0.00
Densité de linéaments	1	0.18 - 0.4	4.03	0.00	0.00
	2	0.4 - 0.8	28.18	31.25	1.11
	3	0.8 - 1.2	39.88	39.58	0.99
	4	1.2 - 1.6	19.56	20.83	1.06
	5	1.6 - 2	5.54	6.25	1.13



Arbre de décision obtenu

Interface graphique du logiciel R (Rstudio) et aperçu du code utilisé

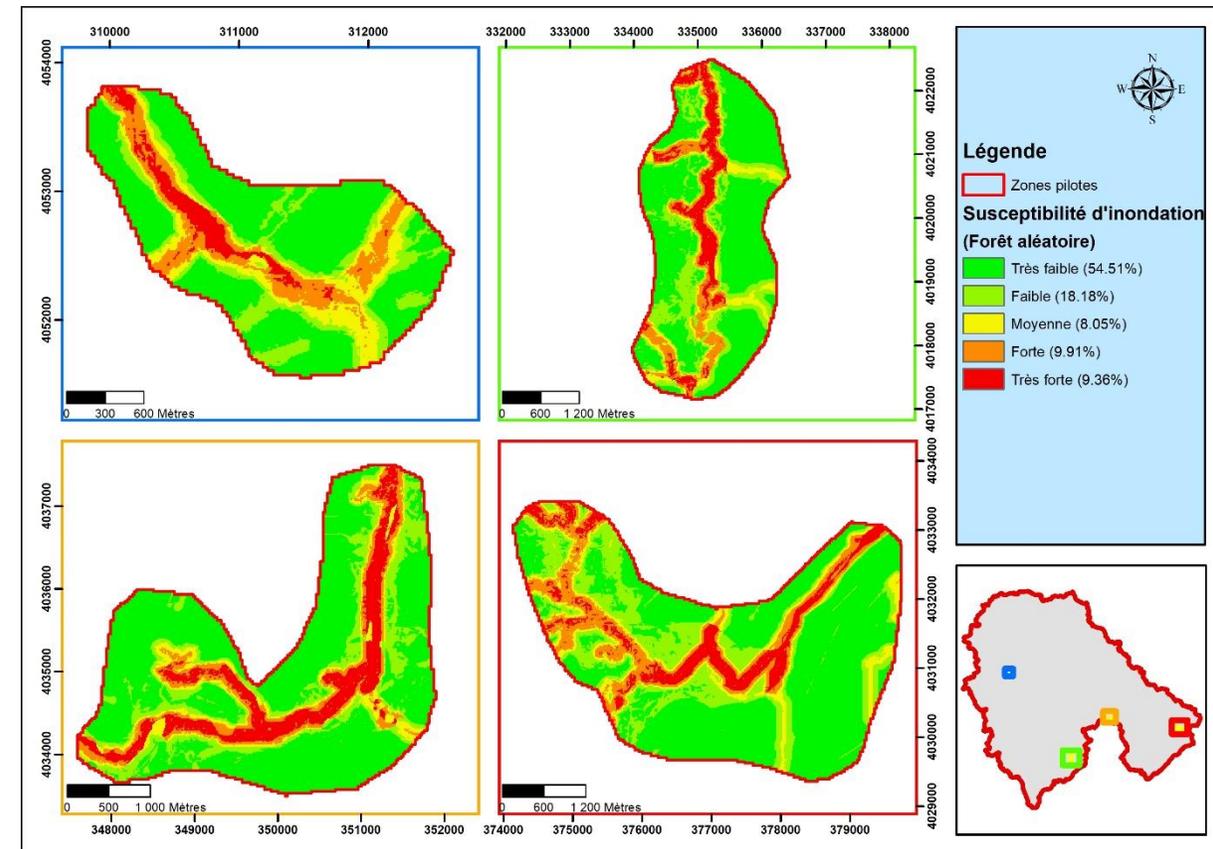
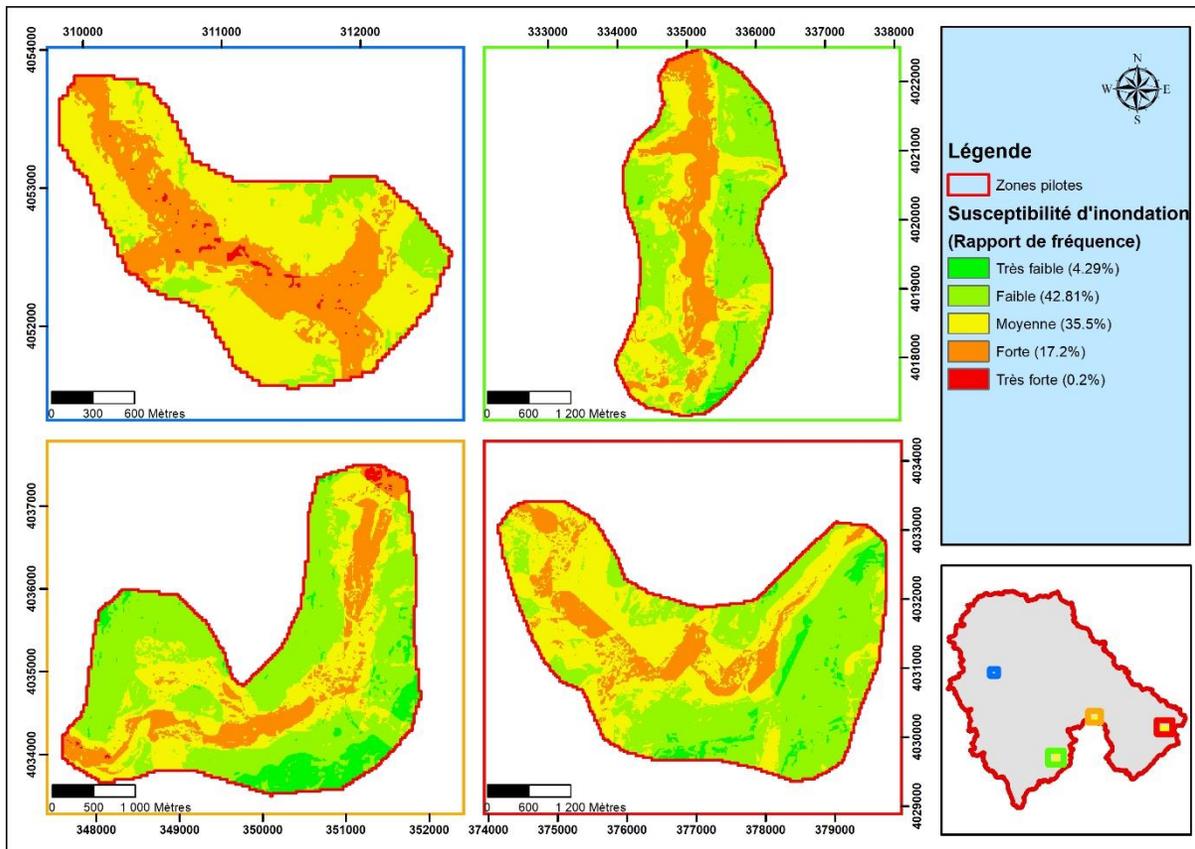
Extrait de résultat de la construction du modèle de rapport de fréquence



SUSCEPTIBILITÉ À L'INONDATION INDUITE PAR SÉISME

→ Classification de la susceptibilité en intervalle égale

Indice de susceptibilité	0 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	0.8 - 1
Classe	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte



Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon le modèle « rapport de fréquence »

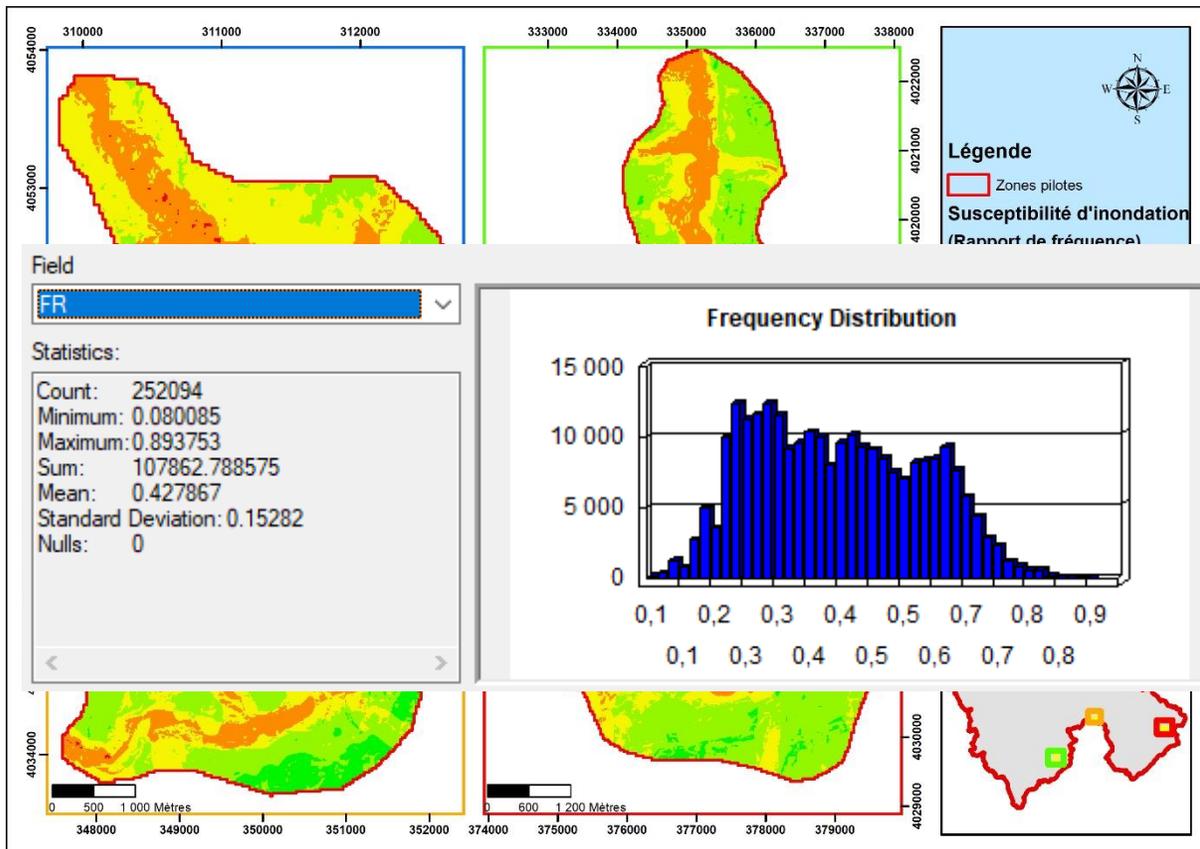
Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon le modèle « forêt aléatoire »



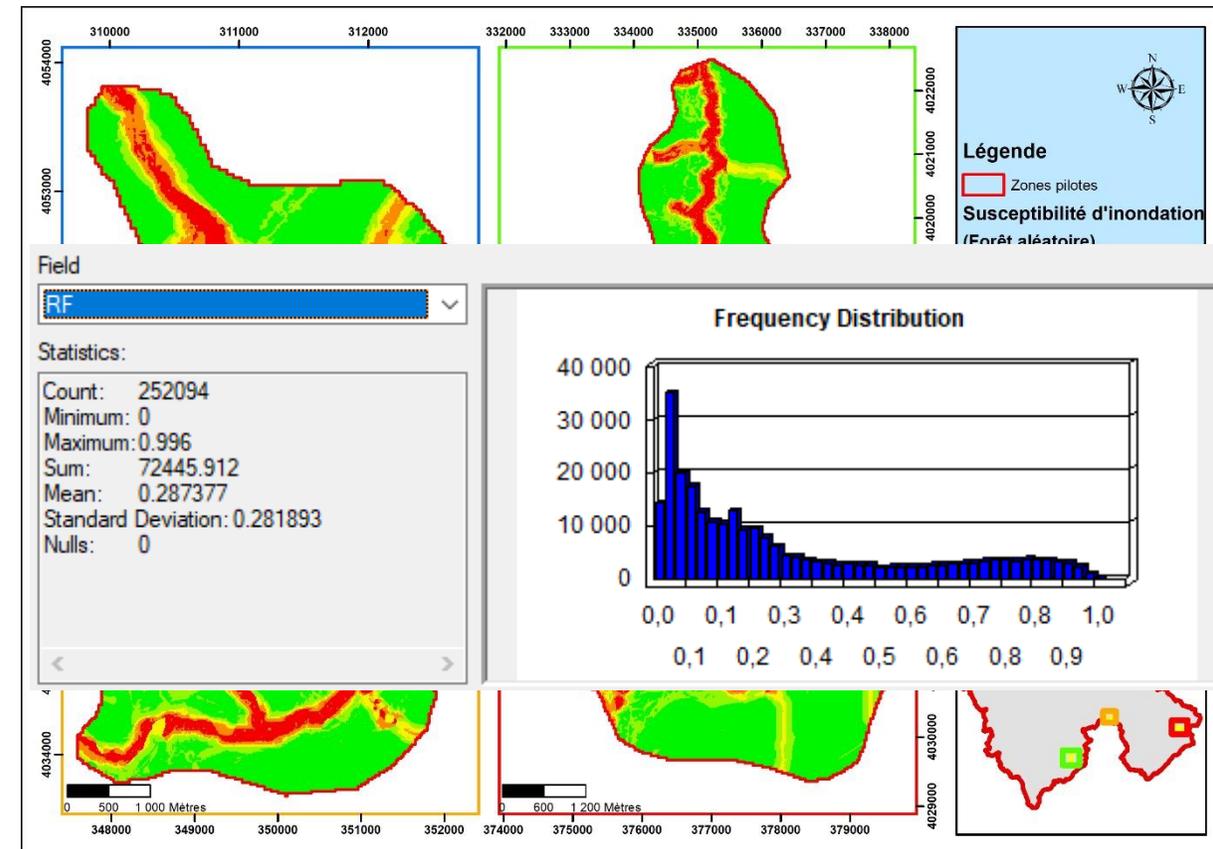
SUSCEPTIBILITÉ À L'INONDATION INDUITE PAR SÉISME

→ Classification de la susceptibilité en intervalle égale

Indice de susceptibilité	0 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	0.8 - 1
Classe	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte



Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon le modèle « rapport de fréquence »



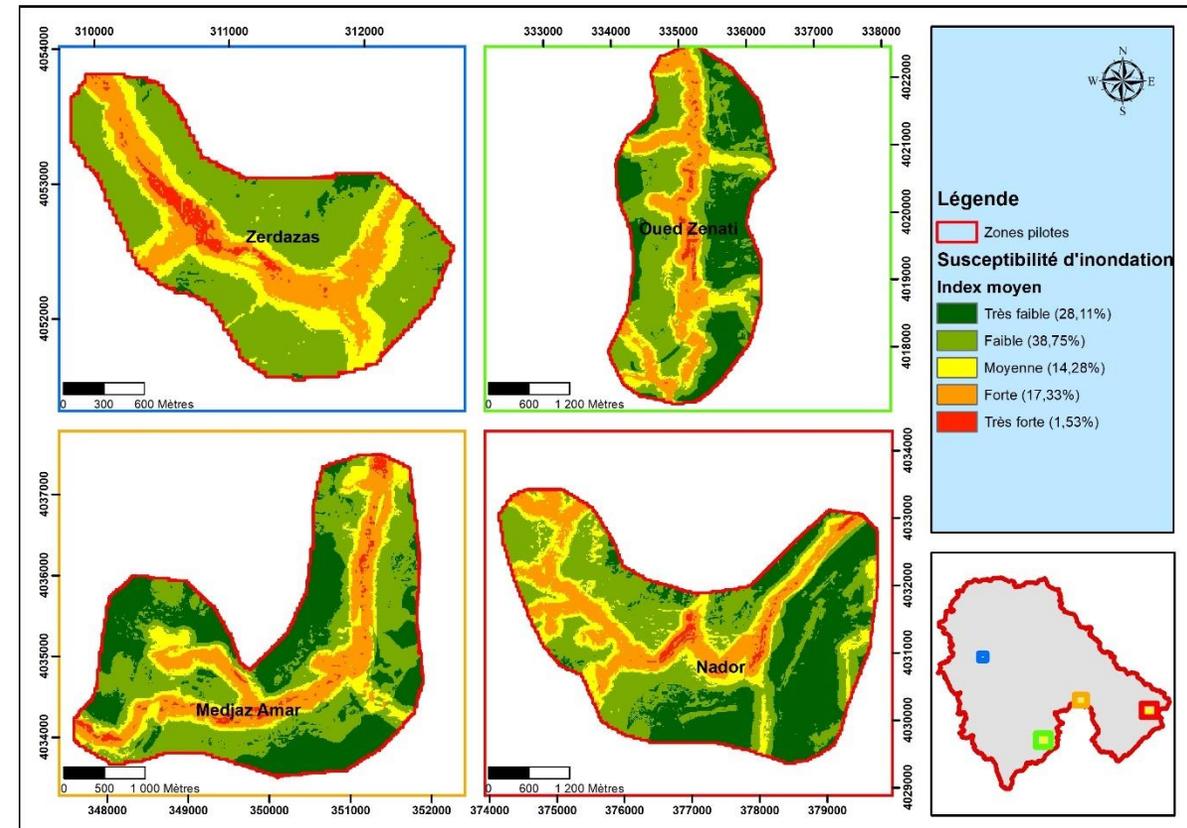
Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon le modèle « forêt aléatoire »

SUSCEPTIBILITÉ À L'INONDATION INDUITE PAR SÉISME



→ Cartographie de la susceptibilité en moyennant les résultats des deux dernières cartes.

→ Créer une carte d'indice moyen où chaque maille prendra la valeur moyenne des deux prédictions (FR et RF)

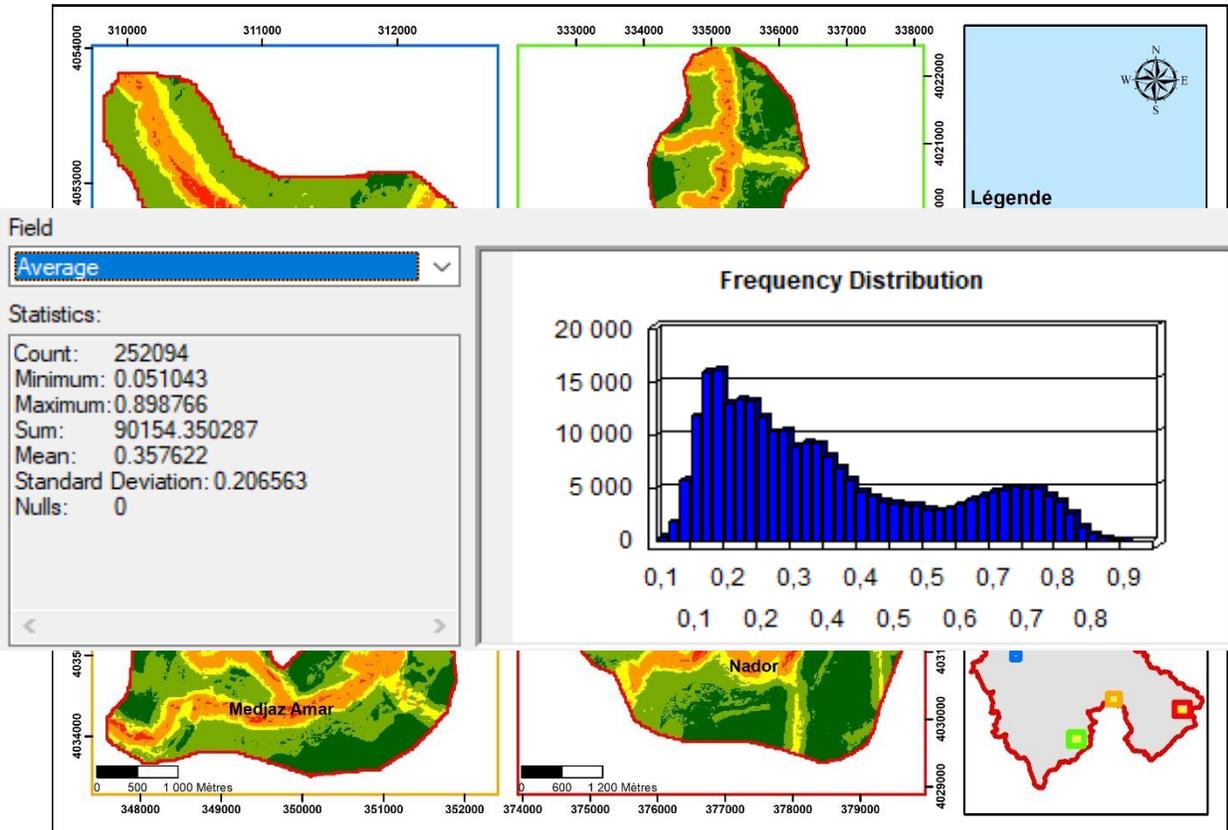


Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon « indice moyen »

SUSCEPTIBILITÉ À L'INONDATION INDUITE PAR SÉISME



- Cartographie de la susceptibilité en moyennant les résultats des deux dernières cartes.
- Créer une carte d'indice moyen où chaque maille prendra la valeur moyenne des deux prédictions (FR et RF)
- Cela nous permettra de s'approcher de la moyenne donnée par le modèle de « rapport de fréquence » avec un écart-type de l'ordre de la taille d'une classe.



Carte de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes selon « indice moyen »

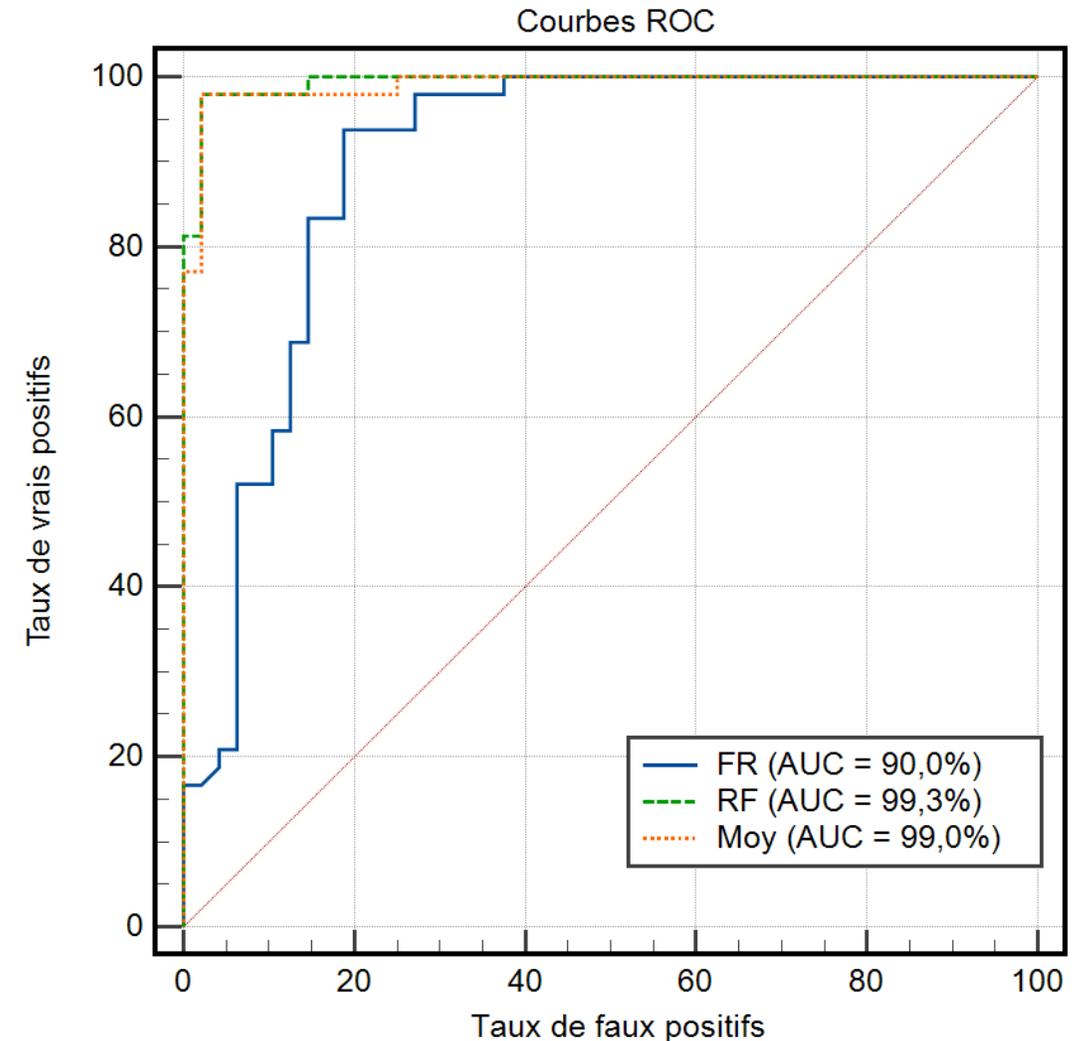


VALIDATION DES RESULTATS

Validation par le calcul de la fonction d'efficacité du récepteur, plus fréquemment désignée sous le terme « courbe ROC »

→ Estimation du degrés de précision de la prédiction

→ Calcul de l'AUC (Aire sous la courbe ROC)



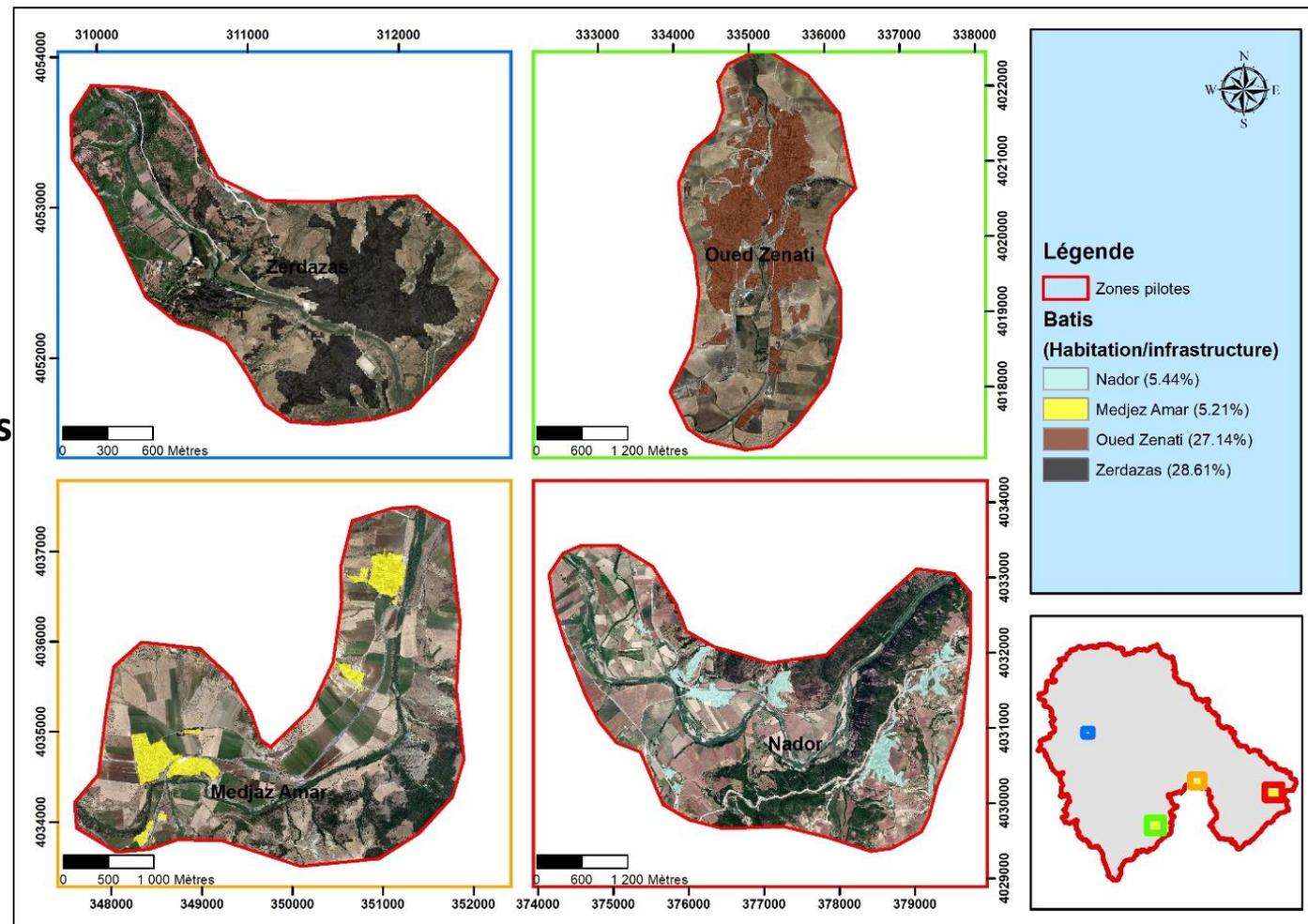
Courbes ROC des 2 modèles appliqués ainsi que la prédiction moyenne

ANALYSE DE L'EXPOSITION

- Classification semi automatique sous QGIS → détection des zones urbanisées

Superficie des zones urbanisées des 04 zones pilotes

Zone	Superficie (km ²)	Zone bâtis (km ²)	Pourcentage Bâtis
Nador	13.97	0.76	5.44%
Medjaz Amar	9.78	0.51	5.21%
Oued Zenati	9.25	2.51	27.14%
Zerdazas	3.32	0.95	28.61%
Total	36.32	4.73	13.02%



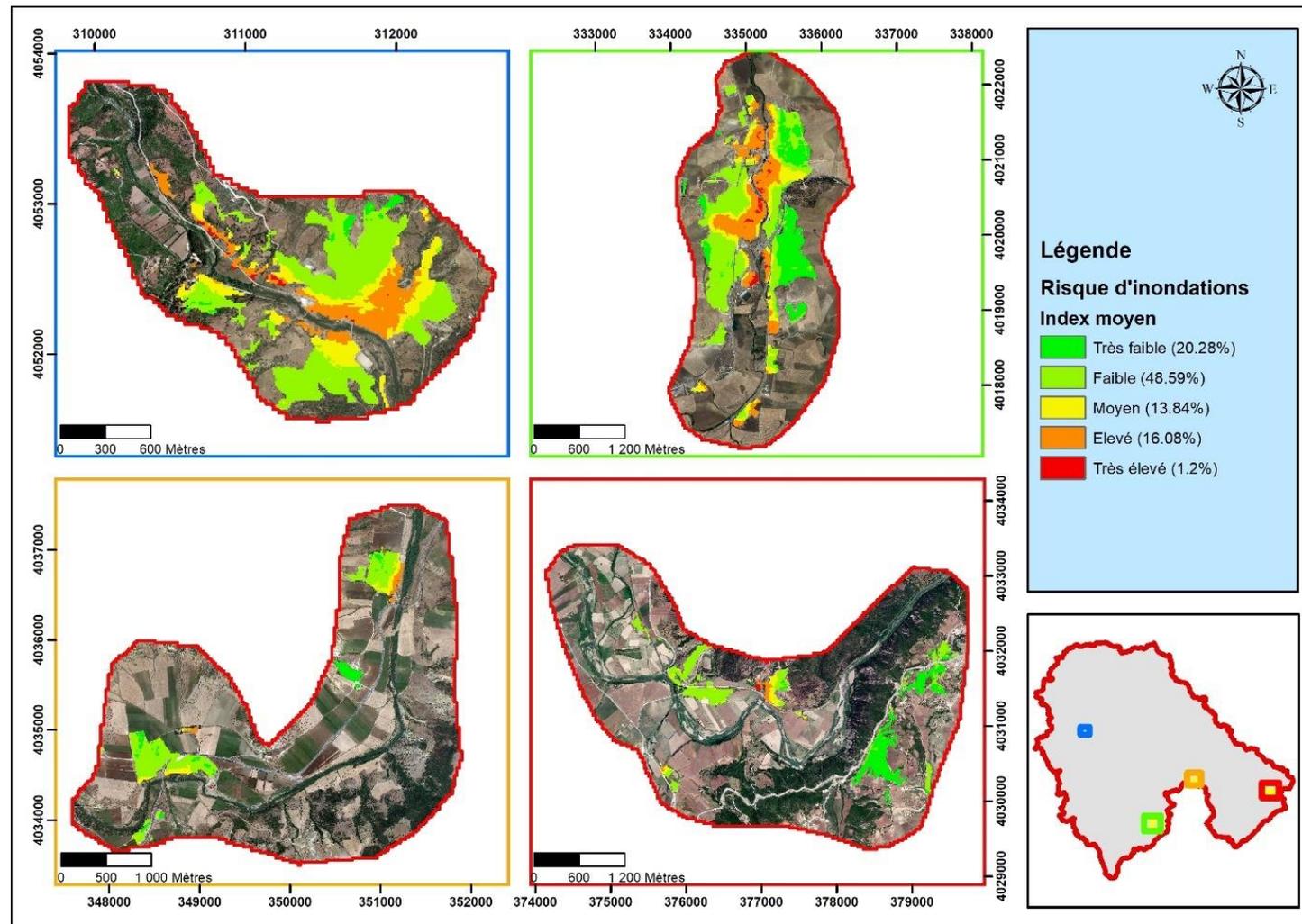
Localisation des zones urbanisées par télédétection

EVALUATION DU RISQUE SUR LE BÂTIS

- Superposition des classes de susceptibilité sur le bâtis



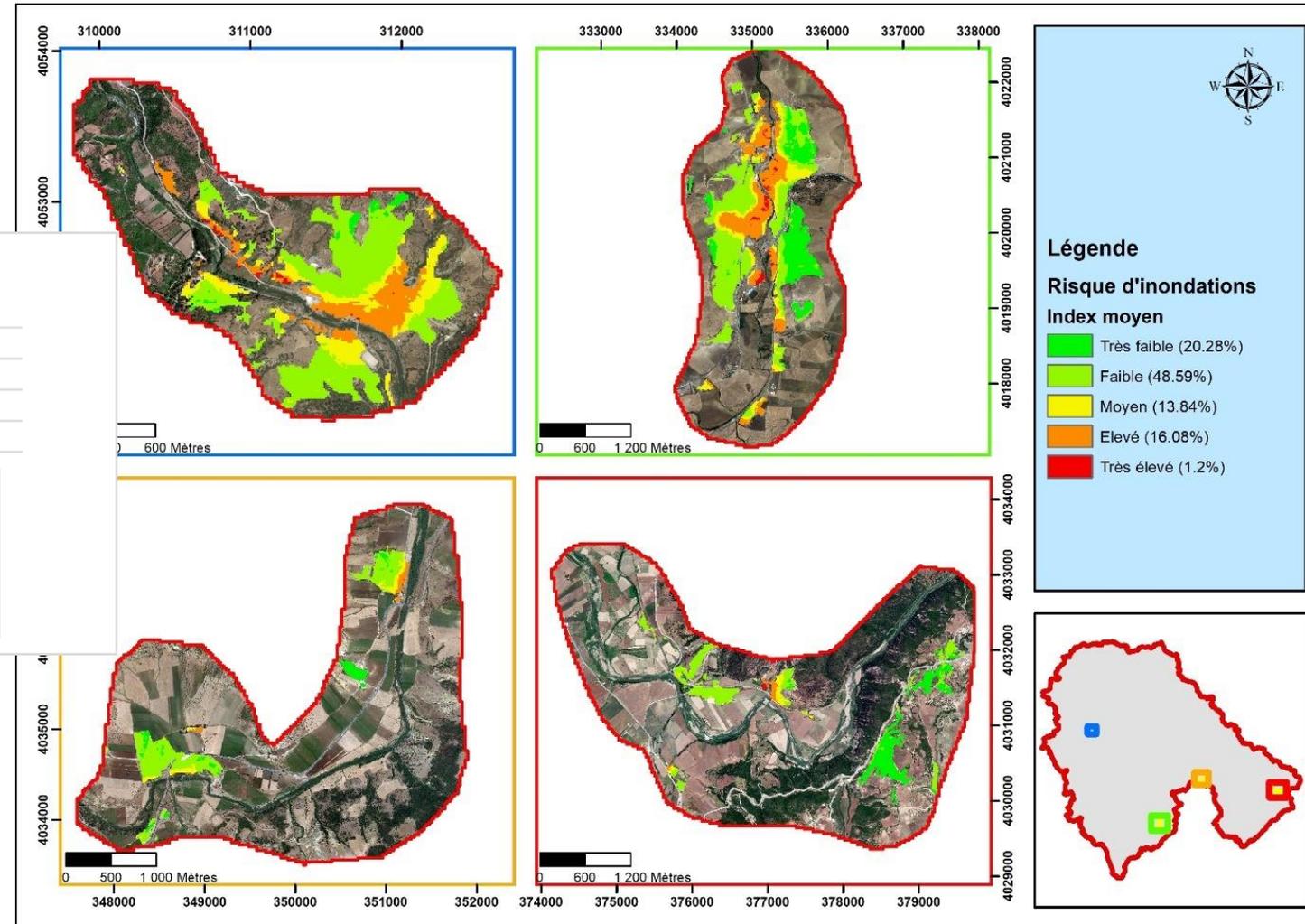
Les notions d'aléa, enjeux et risque dans les inondations



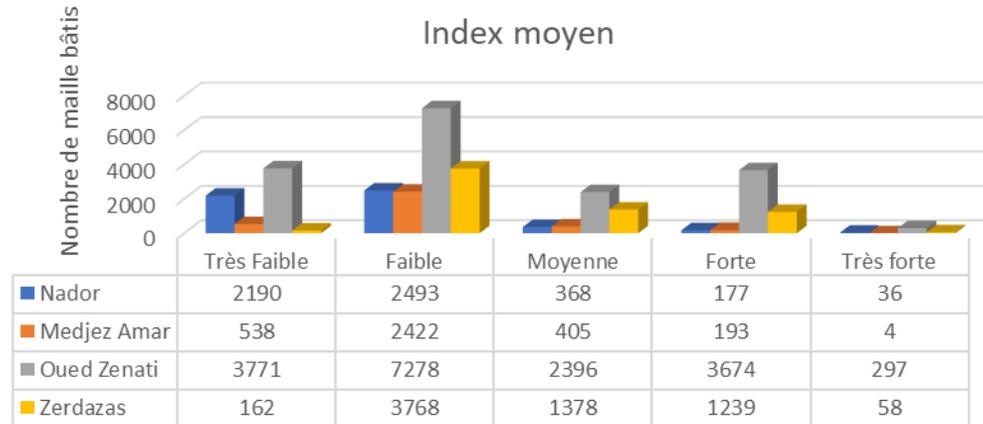
Carte du risque d'inondation sur le bâtis des zones pilotes par l'application de l'indice moyen

EVALUATION DU RISQUE SUR LE BÂTIS

- Superposition des classes de susceptibilité sur le bâtis



Index moyen

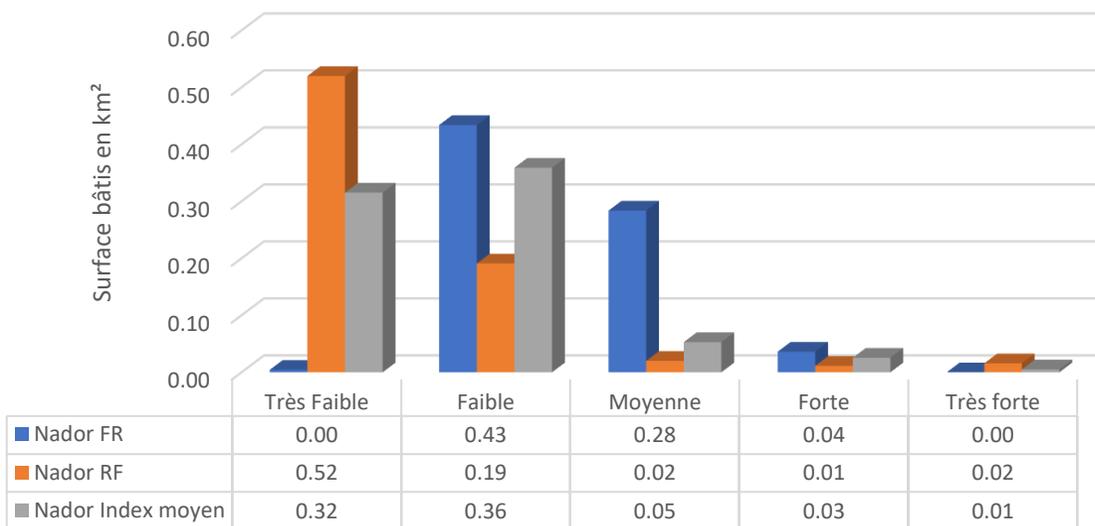
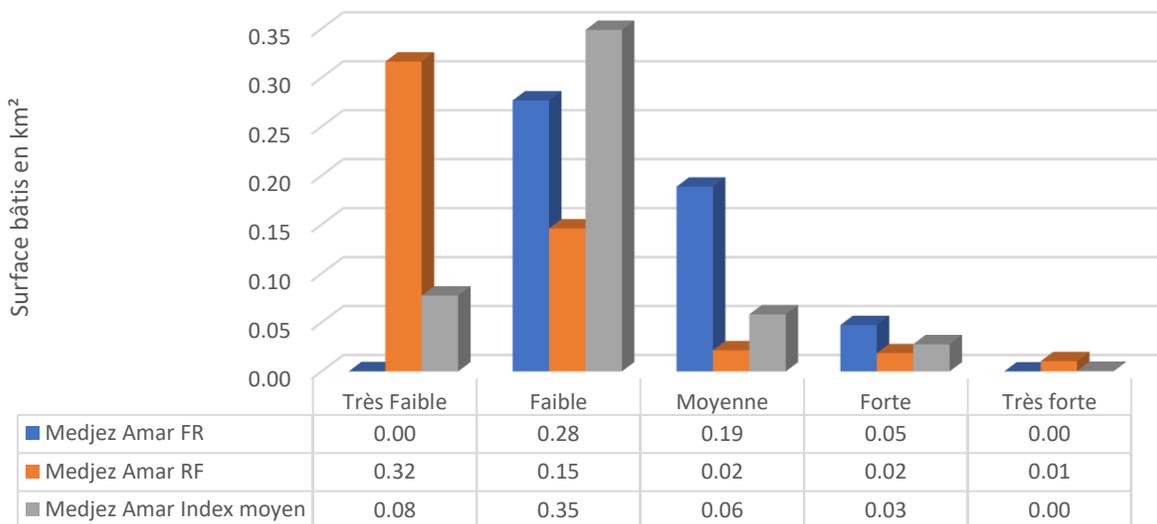
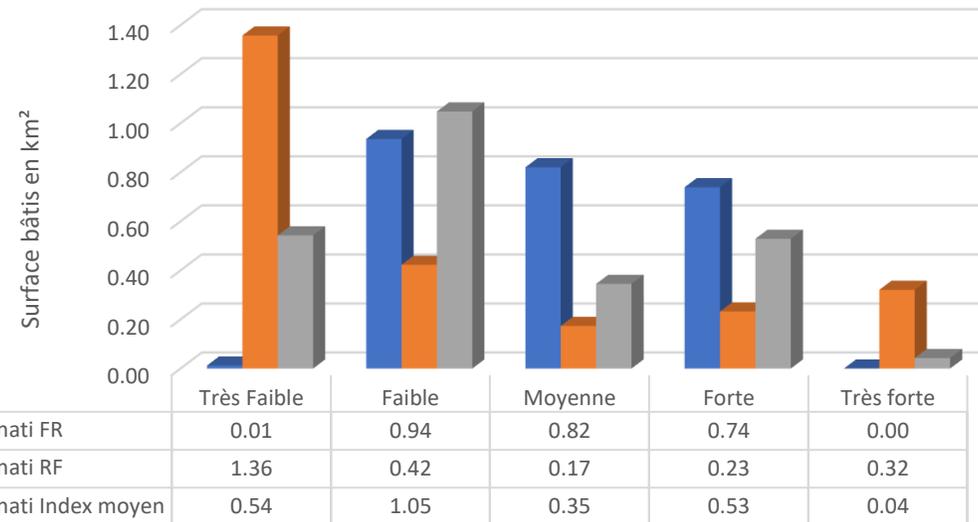
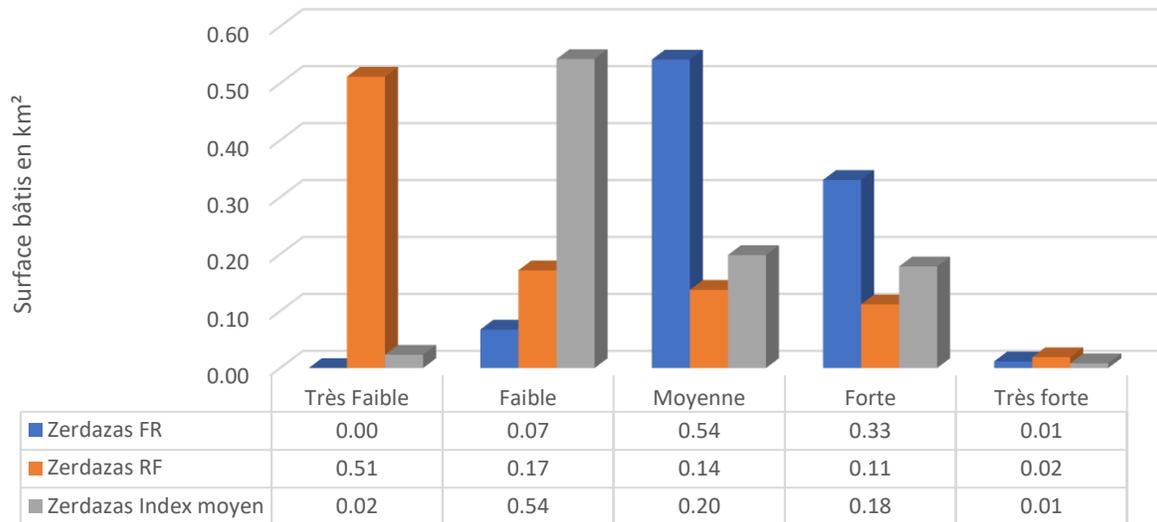


Répartition des classes de risque suivant les zones

Carte du risque d'inondation sur le bâtis des zones pilotes par l'application de l'indice moyen



COMPARAISON DES RESULTATS PAR ZONES





RECOMMANDATIONS

La carte du risque d'inondation suite aux séismes peut constituer un support important d'aide à la décision pour les urbanistes et les constructeurs dans le cadre du développement durable en garantissant un niveau élevé de sécurité des biens et des personnes. Par ailleurs, il est recommandé de :

- Réaliser une analyse fine au droit des zones exposées à un risque élevé à très élevé comme les enquêtes sur le terrain, l'utilisation de données plus précises (MNT très haute résolution)
- Proposer des aménagements adéquats pour la protection des habitations et des infrastructures.
- Interdire ou limiter la construction dans les zones ayant une susceptibilité forte à très forte vis-à-vis des inondations par les effets des séismes.



RÉSULTATS OBTENUS / VALORISATION

- Multitude de cartes thématiques des facteurs d'apparition de l'aléa
- Méthodologie de cartographie et de susceptibilité à l'inondation induite par les séismes.
- Cartographie du risque d'inondation induite par séismes aux droit des zones pilotes.

• Un article basé sur cette méthodologie est en cours de d'évaluation pour publication



Dear Massinissa BRAHAM,

Thank you for submitting your revised manuscript.

Submission ID	219165223
Manuscript Title	Identification of groundwater potential zones using remote sensing, GIS, machine learning and electrical resistivity tomography techniques in Guelma basin, northeastern Algeria
Journal	Geocarto International



APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE DE LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL D'INONDATION INDUITE PAR SÉISMES

Application dans l'Est algérien (Guelma et Skikda)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION