

Note sur le projet de la voie express du sud

EL KHADARY Mustapha
Chef de la Cellule Projets Nationaux /DOA/DR

1. Présentation du projet et contexte de l'étude

L'étude hydraulique s'inscrit dans le cadre de l'étude la voie express entre Tiznit et Laayoune un projet de grande importance pour le développement du Maroc et ses provinces de sud ; il s'étale sur un linéaire d'un peu près 550km.

Dans le cadre des études de ce projet ambitieux et pour bien cerner le contexte hydraulique du projet la Direction des Routes, notamment suite aux inondations qu'ont connues les provinces de sud en 2014, a lancé une étude hydraulique pour le tronçon du projet entre Guelmim et Laayoune. Cette étude a eu comme objectif :

- L'estimation des débits de projet pour tous les bassins versants interceptée par le projet,
- L'analyse et modélisation des écoulements le long de la voie express,
- Dimensionnement des ouvrages de franchissement des grands cours d'eau et calage hydraulique de la ligne rouge

L'étude a été menée en trois grandes phases :

- Collecte des données nécessaires auprès des différents organismes : Directions territoriales du ministère d'Equipement du Transport de la Logistique et de l'Eau, la Direction de la Météorologie Nationale, la Direction Générale de l'Hydraulique, le Centre Royal de Télédétection Spatiale..
- L'étude hydrologique globale,
- L'étude hydraulique : Analyse des sections où les écoulements présentent un caractère particulier et dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement.

2. Collecte des données :

La collecte des données a concerné tous les bassins versants présentant un intérêt pour l'étude hydrologique du projet, qu'ils soient interceptés par le voie express ou non, dans un objectif d'exploiter le maximum d'information hydrologiques disponibles.

Les données collectées comportent :

- Les cartes topographiques des bassins versants ;
- Les études réalisées par d'autre organismes notamment la Direction Générale de l'Hydraulique,
- Photos satellites des inondations de 2014,
- Les données des pluviométriques : pluies journalières maximale, pluie annuelles, courbes IDF.
- Courbes IDF et paramètre de Montana

- Les données de débits des principaux cours d'eau,
- Données sur les barrages existants et projetés

2.1. Données pluviométriques :

Les données de 19 postes pluviométriques ont été utilisées, L'exploitation des mesures de ces postes a permis de dégager les valeurs moyennes des pluies maximales journalières selon les zones :

- Tiznit _ Guelmim : Pjmax observée moyenne ~ **76 mm** ;
- Guelmim_ TAN-TAN : Pjmax observée moyenne ~ **37 mm** ;
- TAN-TAN Laayoune : Pjmax observée moyenne ~ **28 mm** ;

2.2. Paramètres de Montana :

Les seuls paramètres dont on a pu disposer sont ceux de la station de Guelmim, la grande variabilité des pluies dans le domaine de l'étude ne tolère pas l'utilisation de ces paramètres pour toute l'étendue de la voie express. Des corrélations intrinsèques ont été établies entre les Pjmax et les coefficients de Montana (figure 1).

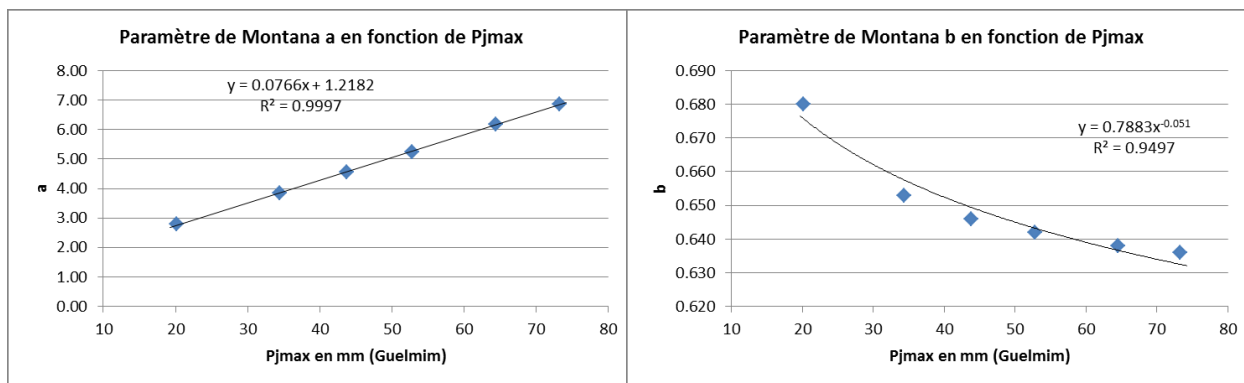


Figure 1 : corrélation entre paramètres de Montana et Pjmax

2.3. Données hydrométriques :

La figure 2 présente les stations hydrométriques d'intérêt pour l'étude :

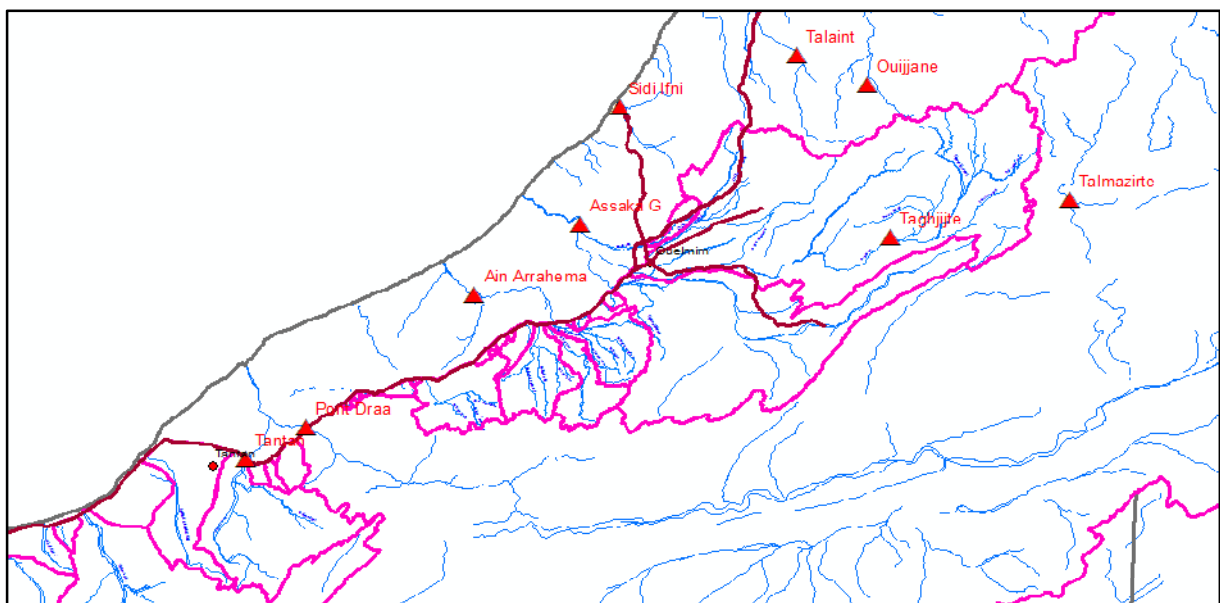


Figure 2 : Stations hydrométriques

Cinq stations ont été retenues pour l'analyse hydrométrique, les données exploitées sont :

- Les débits maximums instantanés (Q_{imax}) ;
- Les débits maximums journaliers (Q_{jmax}) ;
- Les hydrogrammes de crues type.

Les hydrogrammes des crues ont été essentiellement utilisés pour l'estimation du temps de concentration, le temps de concentration ainsi retenu est voisin de $0.75t_c$ calculé par la formule de KIRPICH.

2.4. Barrages existants et projetés :

Sur la base des informations fournies par la DGH sur les barrages existants et projetés (figure 3 et 4), seuls sont retenues les barrages dont :

- La capacité de laminage est importante. C'est le cas du barrage FASK qui a été pris en compte;
- La date du début de réalisation est fixée,

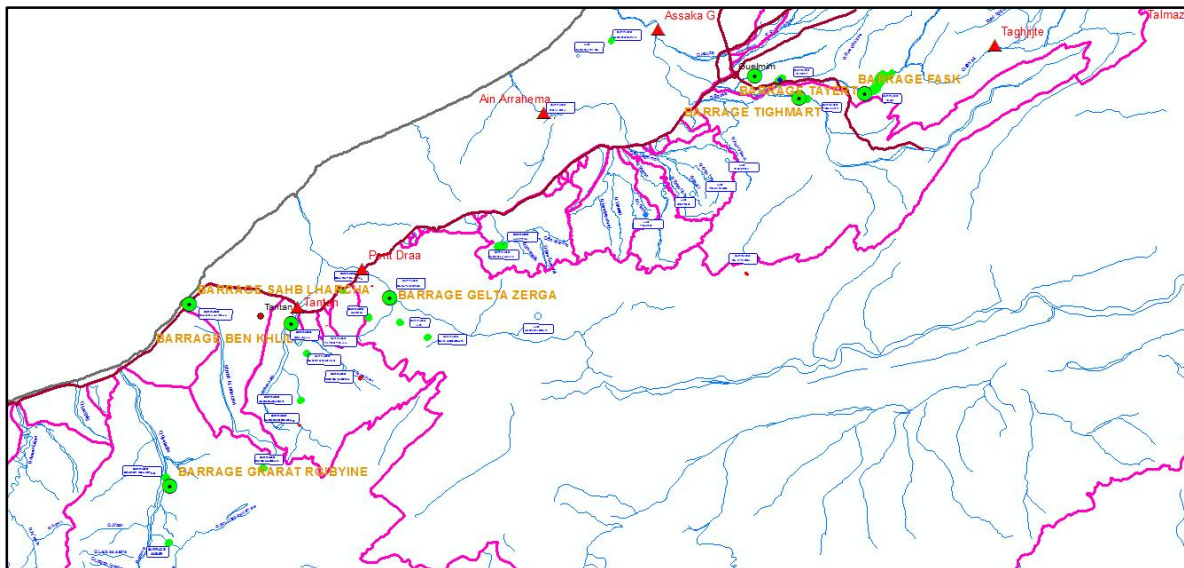


Figure 3 : zone Guelmim - TAN-TAN

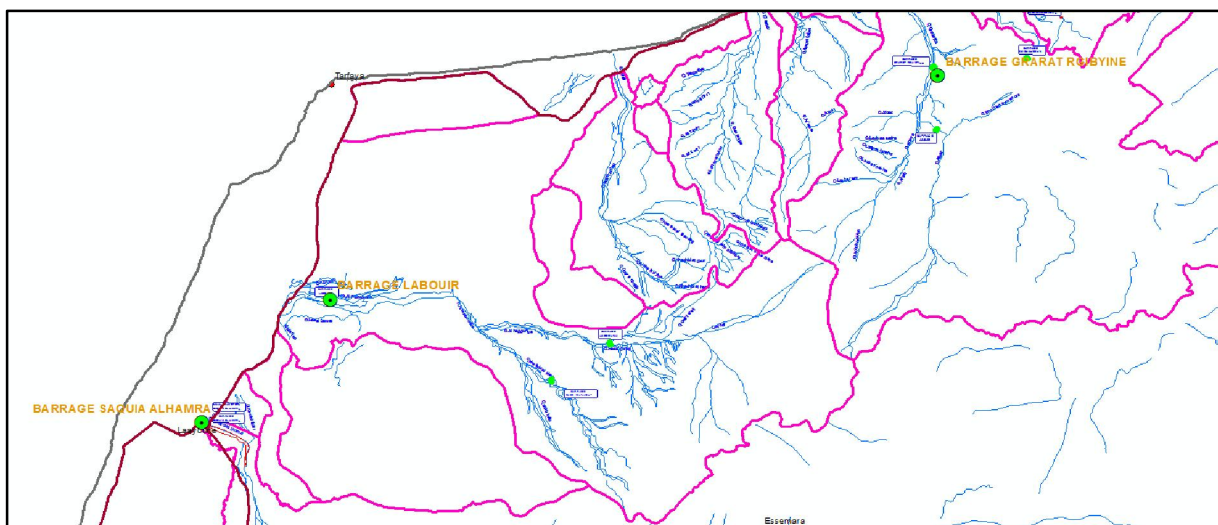


Figure 4 : Barrages de la zone TAN-TAN – LAAYOUNE

2.5. Commentaire des données collectées :

Une première analyse des données recensées a permis de formuler les conclusions suivantes :

- La grande partie des données disponibles concerne les bassins versants de la région Guelmim oued Noun ;
- Un manque important des stations de jaugeage des bassins versants
- Une absence quasi-totale des données sur le bassin versant de la région Laayoune SEKIA EL HAMRA,
- Une chute importante dans le gradient des pluies moyenne de l'ordre de 50% en allant vers le sud, ne permettant pas d'extrapoler directement les résultats de la région Guelmim vers la région de Laayoune SEKIA EL HAMRA,

3. Etude hydrologique

3.1. Analyse pluviométrique :

L'ajustement statistique des pluies journalières maximales pour les 19 postes pluviométriques utilisés dans l'étude, a permis de calculer la pluie journalière maximale annuelle pour plusieurs périodes de retour. Et de dresser des cartes des iso-valeurs, à titre d'illustration la figure 4 représente les iso-valeurs des pluies maximales journalières de période de retour 100ans.

Il a permis également de dresser les cartes des iso-valeurs des pluies moyennes annuelles (voir figure 5)

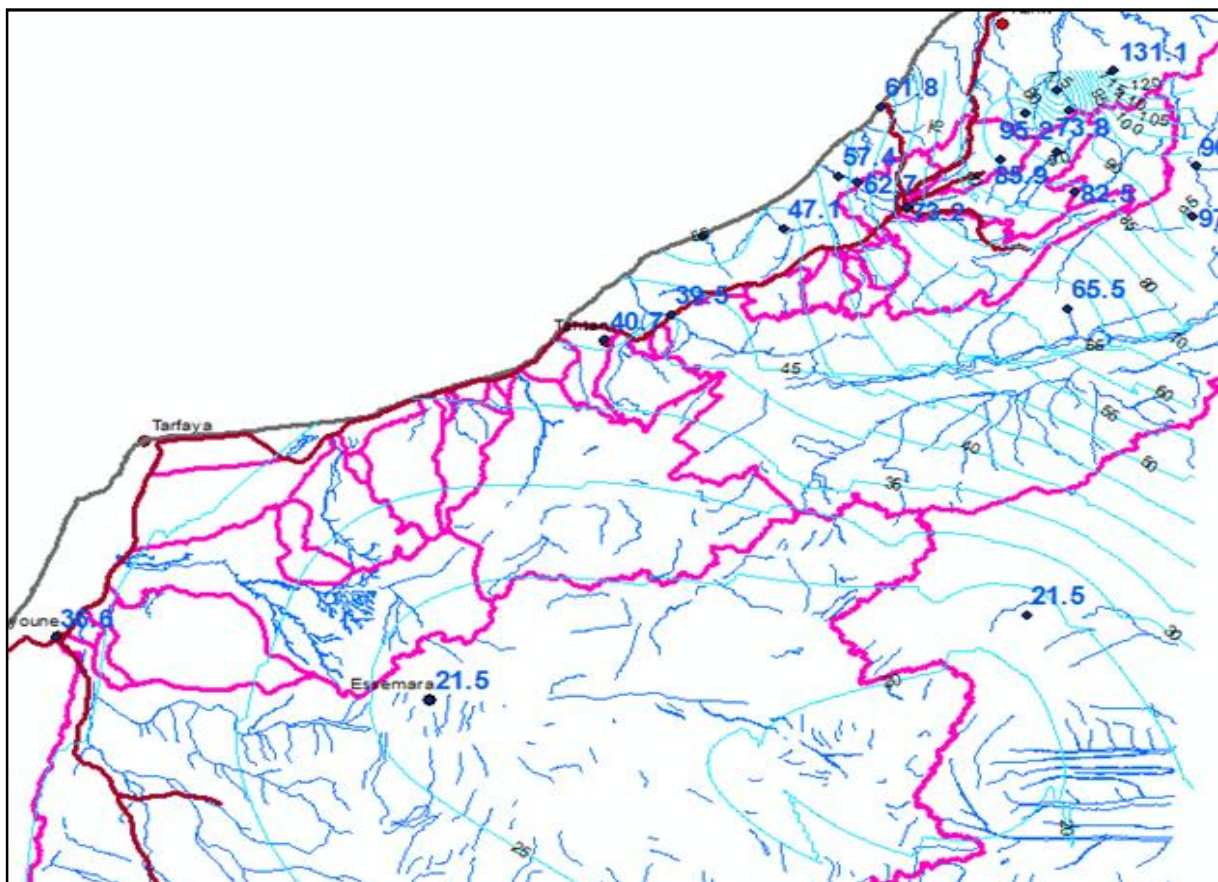


Figure 5 : quantiles des pluies journalières maximales annuelle (mm) T=100ans

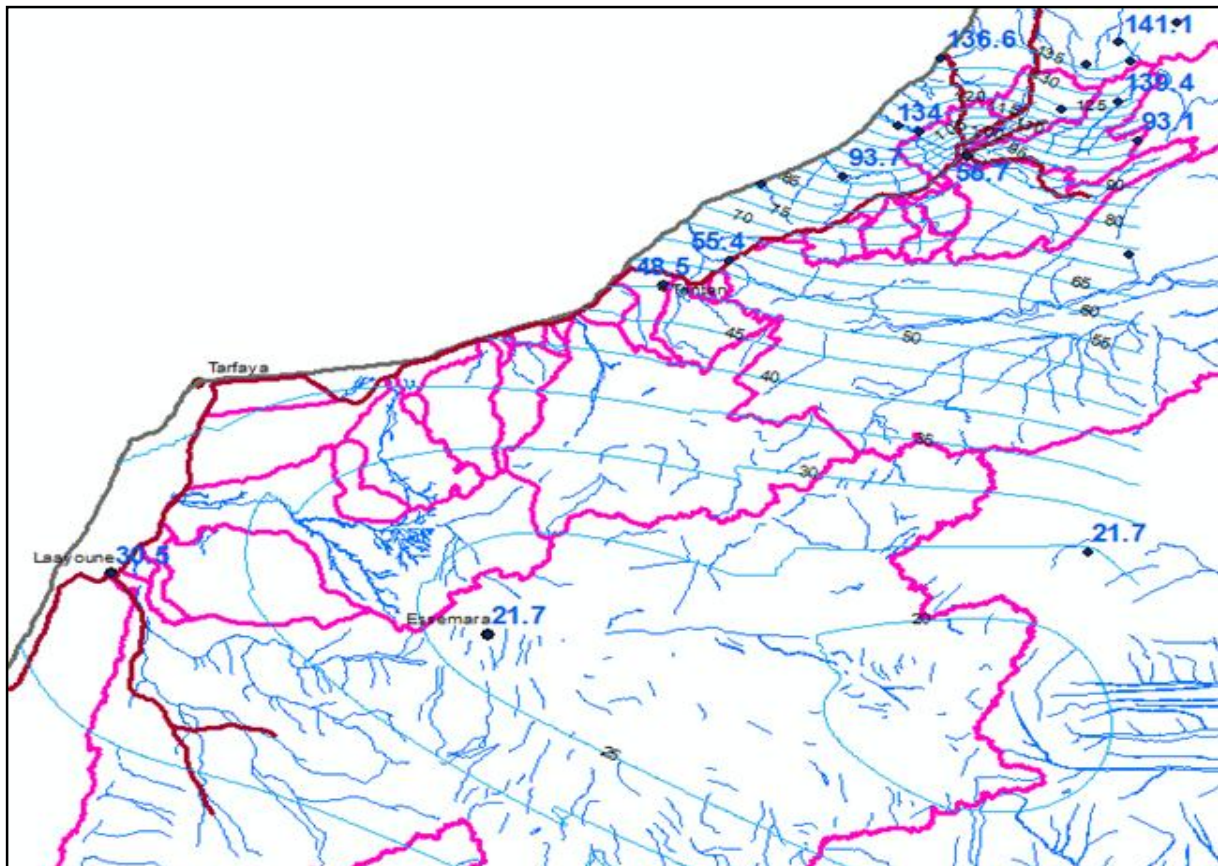


Figure 6 : Pluies annuelles moyennes, Isovaleurs approximatives (mm)

3.2. Analyse hydrométrique :

Les données hydrométriques de cinq stations ont été récupérées. Il s'agit de :

- TAGHJIJT sur oued SEYAD en amont de la voie express,
- ASSAKA sur oued SEYAD à l'aval,
- Pont DARAA sur oued DARAA,
- TAN-TAN sur oued BEN KHLIL,
- SIDI IFNI sur oued sidi Ifni. Cette station loin de la zone de l'étude permis de caractériser les bassins versant côtiers.

Les bassins versants de grande taille (>1000 km²) sont généralement non jaugés.

En dépit de l'insuffisance des données hydrométrique l'étude hydrométrique à tenter de proposer une approche régionale permettant d'estimer les débits au droit des franchissements de la voie express. Les méthodes utilisées sont :

- Analyse statistiques des données des stations hydrométriques,
- Application de la méthode du GRADEX afin de tenir compte de l'effet deuils de ruissellement direct. Cette méthode a permis de mettre en lien un comportement violement des bassins versants après saturation du sol que l'analyse statistiques des débits ne permet pas de mettre en exergue,

- Application du modèle pluie débit de type SCS. Ce modèle s'est basé sur l'appréciation du coefficient d'indexation des sols et ce en absence de données permettant un calage des événements pluies-débits.

A titre d'illustration ils sont présenté ci-après les résultats des différents approches pour le bassin versant contrôlé par la station TAGHJIJT.

Ajustement statistique :

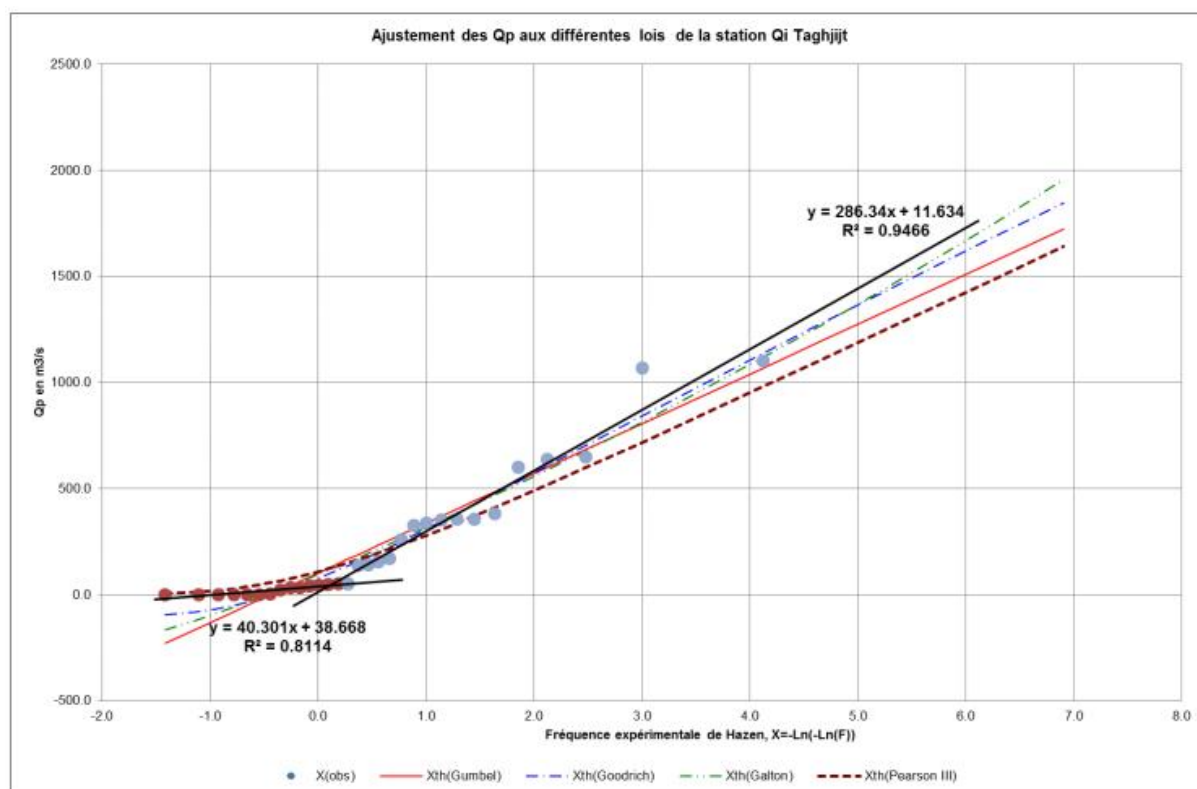


Figure 7 : Estimation des débits par la méthode statistique

Les quantiles des débits de pointe par ajustement statistiques sont donnés dans le tableau suivant

Tableau 1 : Résultats d'ajustement statistiques

T	10	20	50	100
Qp	656	862	1129	1329
Kp	3.44	3.69	3.93	4.07

Avec

T : période de retour

Qp : débit calculé par ajustement statistique,

Kp : coefficient de Franco-Rodier

Méthode Gradex :

Les données de pluies sont plus étoffées, plus fiable que celles des débits, de ce fait leur exploitation pour l'estimation des débits est plus intéressante, c'est l'objectif de la méthode Gradex qui repose sur le principe suivant : à partir d'un seuil l'accroissement des volumes ruisselés est proportionnel à celui des pluies abattues.

L'application de cette méthode au bassin versant de la station de TAGHJIT a permis d'obtenir les résultats suivants.

Tableau 2 : résultats de la méthode Gradex pour la station TAGHJIT

T	10	20	50	100
Qp	591	790	1314	1706
Kp	3.3	3.6	4.1	4.3

La comparaison des débits calculée par la méthode Gradex et l'analyse statistique avec les méthodes empirique a confirmé l'inadéquation de l'utilisation des formules empiriques non calées.

3.3. Etablissement des formules régionales de calcul du débit :

Après le calcul des débits de plusieurs bassins versants par les différentes approches, et la confrontation des résultats de ces approches en tenant compte des limites de validité de chaque méthode, des formules régionales pour le calcul du débit ont été élaborées. Ces formules prennent comme seul paramètre d'entrée la superficie du bassin versant, elles sont données, selon la zone et l'antécédent d'humidité du sol, dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Formules régionales de calcul des débits

Zone/ Antécédent H	Etat Moyen (CNII)	Etat Humide (CNIII)
Z1 Guelmim – Tan Tan :		
40 km² < S < 300 Km²	Q100 ~ 2.72 S ^{0.92} (Transition Rationnelle-Régionale)	Q100 ~ 2.95 S ^{1.02} (Transition Rationnelle-Régionale)
300 km² < S < 10000 Km²	Q100 = 378.5 Ln(S) - 1648	Q100 = 860 Ln(S) - 3900
S > 10 000 Km²	L'extrapolation donne un ordre de grandeur mais elle nécessite une étude particulière et notamment un investissement dans les points de mesures	
Z2 Tan Tan - Laayoune :		
40 km² < S < 10 000 Km²	Q100 = 0.015 S + 35	Q100 = 0.20 S + 65
S > 10 000 Km²	L'extrapolation donne un ordre de grandeur mais elle nécessite une étude particulière et notamment un investissement dans les points de mesures	

3.4. Analyse hydraulique des sections à risque hydraulique :

L'analyse des photos aériennes prises après les inondations de 2014 par le CRTS a permis d'arrêté les zones à étudier, ces zones ont été confirmées par les visites du terrain :

- GUELMIM ZRIOUILA
- ZRIOUILA KHNEIGA SADAR
- OUED BTKMAKHT
- TAN-TAN EL OUATIA
- VOIE DE CONTOURNEMENT DE TAN-TAN
- VOIE DE CONTOURNEMENT DE GUELMIM

L'étude hydraulique des zones a été faite sur la base des travaux topographiques et en utilisant les débits de projet déterminés lors de l'étude hydrologique. Il a exploité également les images satellitaires prises par le Centre Royal de Télédétection Spatiale à la veille des événements de 2014 ayant permis de dresser la synoptique des écoulements.

Le caractère diffus des écoulements a nécessité le recours à des modélisations bidimensionnelles qui ont eu un impact très important dans le calage de la ligne rouge et la conception hydraulique des ouvrages qu'une modélisation unidimensionnelle n'aurait pas cerné.

Le recours à une modélisation bidimensionnelle est aussi justifié par l'interconnexion entre les différents cours d'eau.

Dans la présente communication nous présentons à titre d'exemple les résultats d'analyse hydraulique de la section Guelmim – Zriouila

4. Présentation des résultats de la section Guelmim – Zriouila

L'objectif principal de l'analyse de cette section est de :

- Statuer sur le choix du couloir de la voie express dans cette zone en tenant compte de la configuration des écoulements,
- Fixer les contraintes hydrauliques pour le calage de la ligne rouge,
- Prédimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement et des ouvrages de décharge.

4.1. Situation :

Cette zone située au sud de Guelmim, est caractérisée par des écoulements importants et diffus :

- Oued OUM LAACHAR
- Oued SEYAD
- Oued BOUKILA
- Ecoulement dans la zone ZRIOUILA

La figure ci-dessous montre la zone en question :



4.2. Bassin versant :

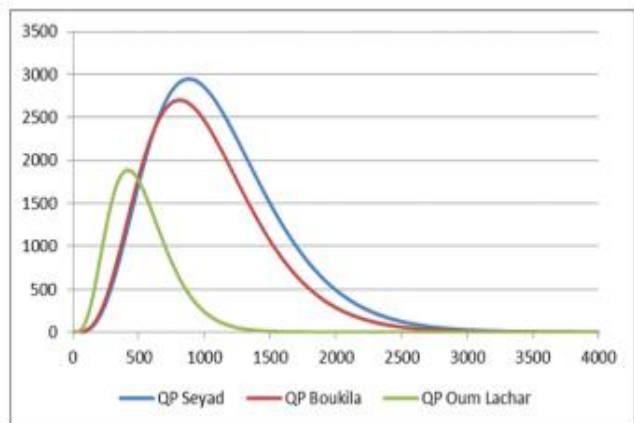


4.3. Caractéristiques physiques des bassins versants :

BV	A (Km ²)	L (Km)	Hmax (NGM)	Hmin (NGM)	Pente (%)
Oum Laachar	873	60	800	240	0.9
Seyad	2872	145	1258	235	0.6
Boukila	2159	123	1120	220	0.5

4.4. Débits de pointe et hydrogrammes de crue :

Oued	Oum Lachar	Seyad	Boukila
S (km²)	837	2872	2159
Q2014 [7] (m³/s)	1400	2880	1690
Qprojet (m³/s)	1887	2948	2702
Kp	4.6	4.4	4.5
Tc (min)	419	883	813



Les hydrogrammes de crues ci-dessus montrent que les crues des oueds SEYAD et BOUKILA peuvent être concomitantes alors que celle de l'OUM LAACHAR peut arriver plus tôt.

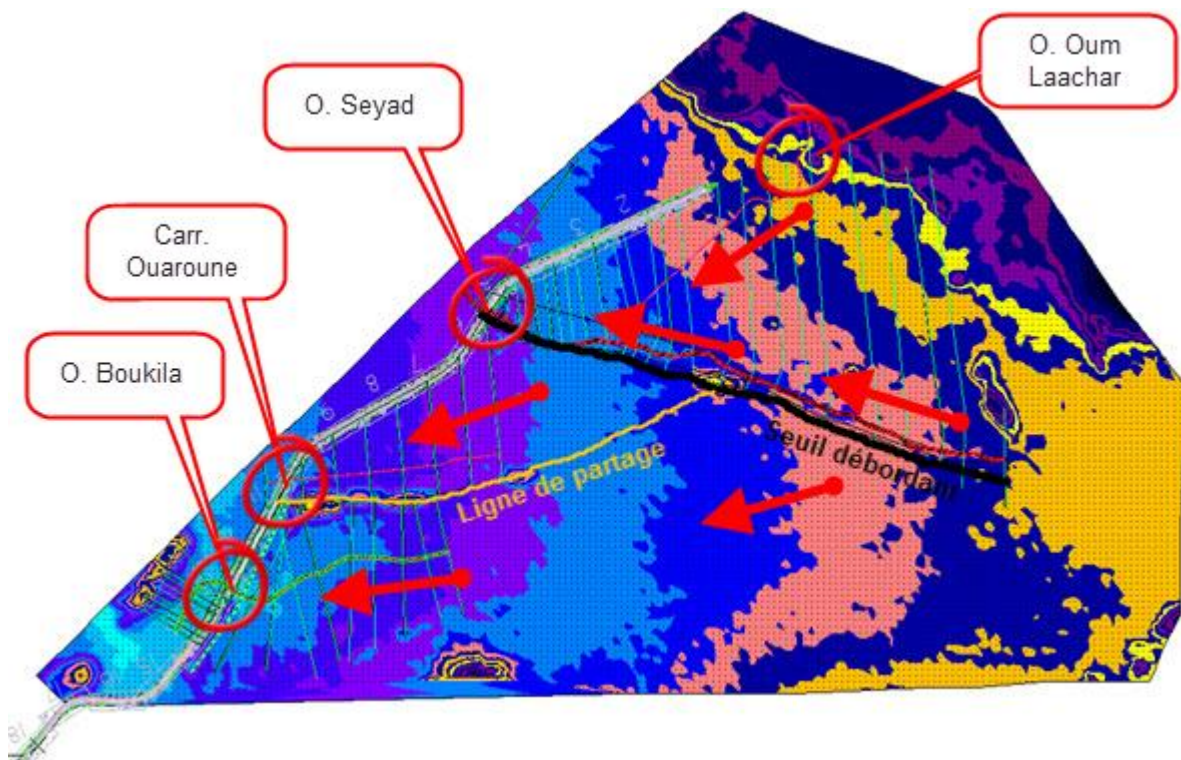
Ces hydrogrammes nous invitent à procéder à l'analyse hydraulique pour deux scénarios :

- Scénario 1 : OUED Seyad en crue centennale.
- Scénario 2 : Oued OUM LAACHAR en crue centennale.

Il est à noter que suite aux inondations de 2014, la ville de Guelmim peut connaître des aménagements pour sa protection contre le débordement de l'oued OUMA LAACHAR, de ce fait ces débordements ne seront pas pris en compte.

4.5. Aspect hydraulique :

La figure ci-après présente la synoptique des écoulements principaux de la plaine de Guelmim :



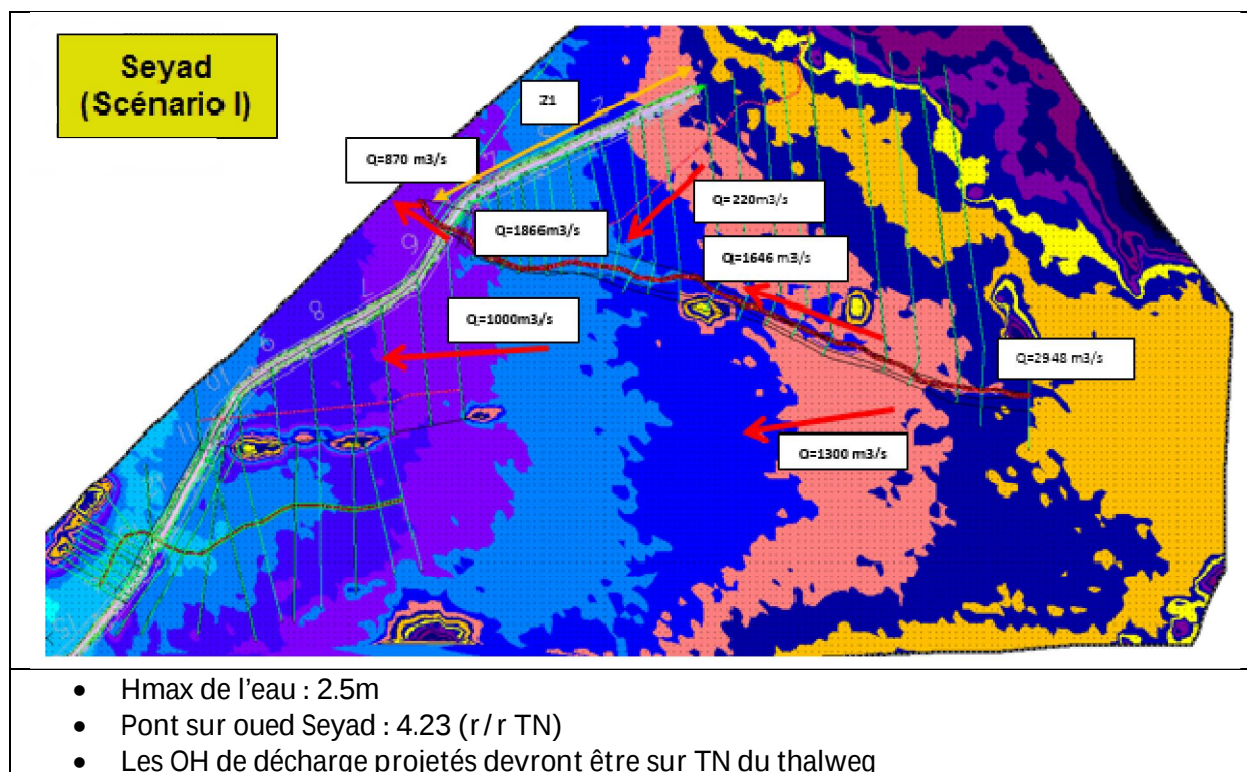
- L'oued SEYAD déborde sur sa rive gauche vers oued BOUKILA en premier lieu,
 - Le résidu d'oued SEYAD s'ajoute à celui de l'oued OUM LAACHAR et subit des débordements vers oued BOUKILA avant d'atteindre le pont sur oued SEYAD.
- 4.6. Simulation 2D pour le deux scénarios :

Pour les deux scénarios cités plus haut, un calcul bidimensionnel a été fait pour :

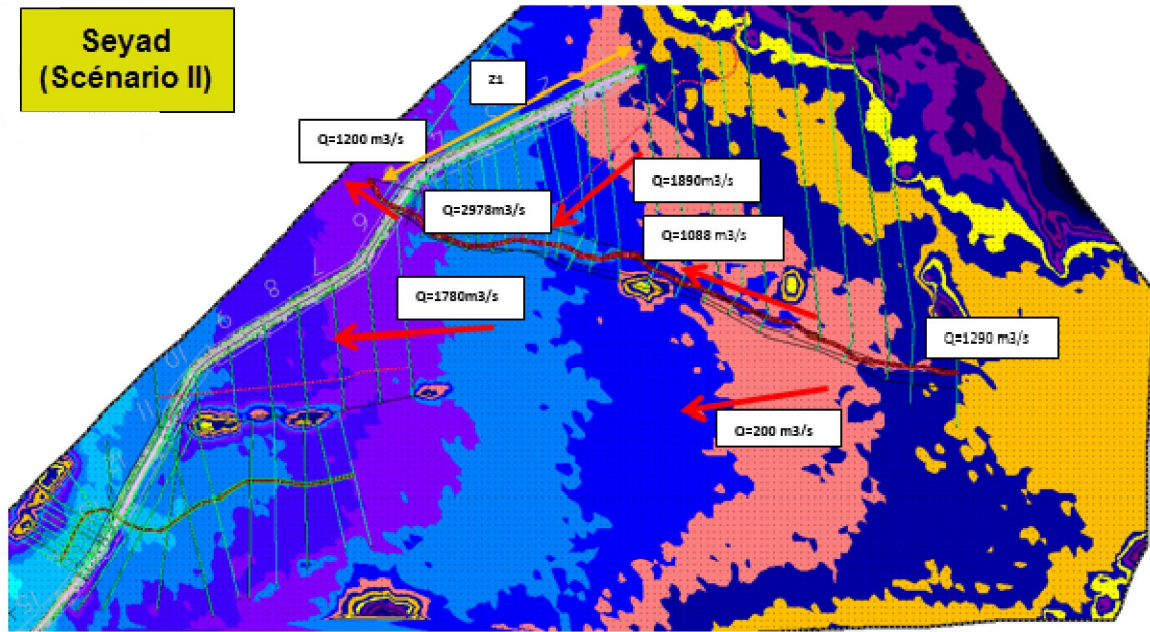
- Déterminer la répartition des débits entre oued,
- Détermination des contraintes hydraulique pour les zones situées entre Guelmim et Zeriouila : hauteur d'eau et vitesses d'écoulement,
- Le fonctionnement hydraulique des ouvrages existants et la proposition de renforcements de la capacité hydraulique éventuels

Les résultats de ces simulations, sont présentés, par zone.

Résultats pour l'ouvrage sur oued SEYAD :



Seyad (Scénario II)

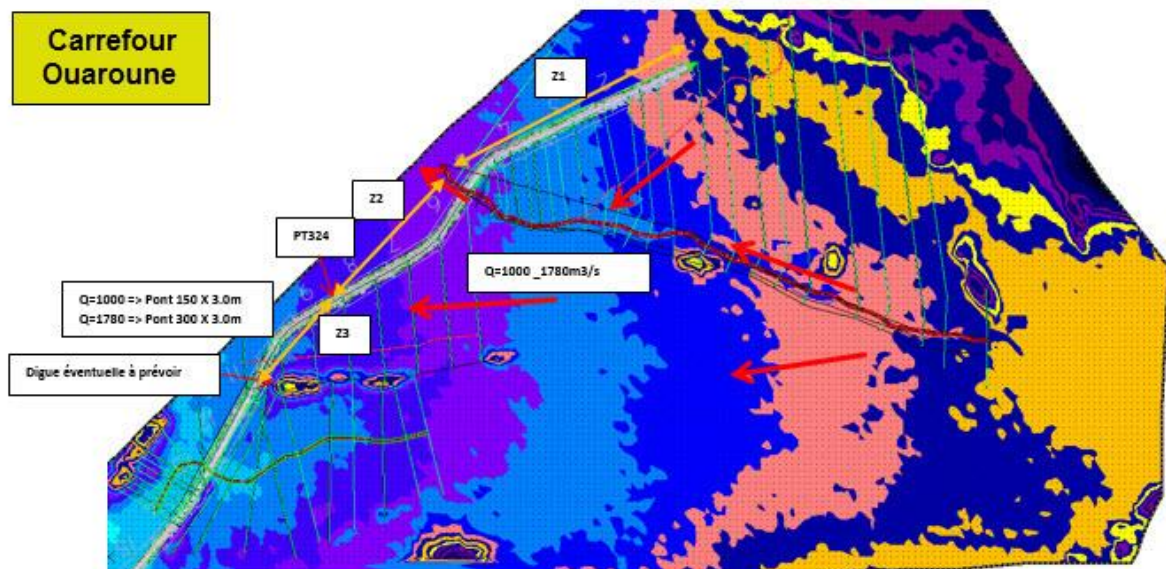


Contrainte Z1 :

- Hmax de l'eau : 2.5m
- Pont sur oued Seyad : 4.23 (r/r TN)
- Les OH de décharge projetés devront être sur TN du thalweg

Résultats de simulation & contraintes : Carrefour Ouaroune:

Carrefour Ouaroune

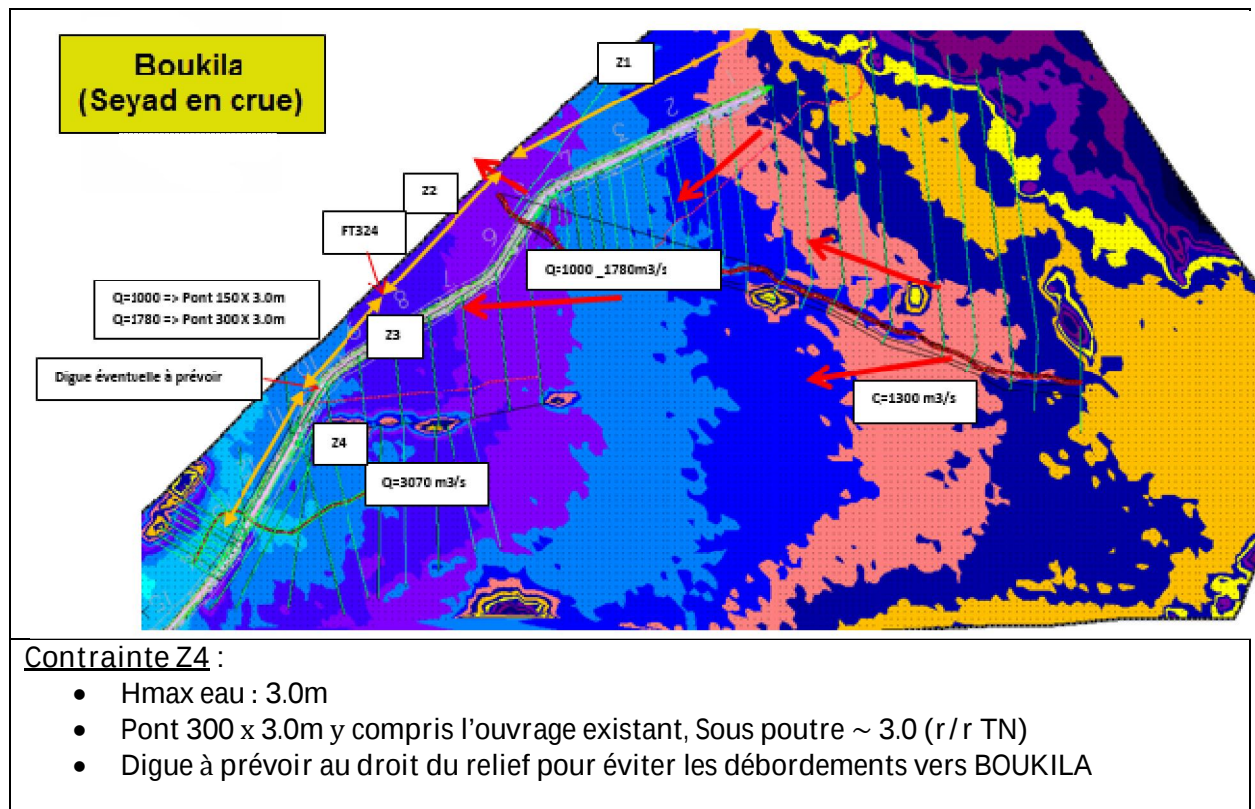


Contrainte Z2 :

- Hmax eau : 2.0m
- Les OH de décharge projetés devront être calés sur TN du thalweg

Contrainte Z3 :

- Hmax eau : 3.0m
- Pont 300 x 3.0m y compris l'ouvrage existant, Sous poutre ~ 3.0 (r/r TN)
- Digue à prévoir au droit du relief pour éviter les débordements vers BOUKILA



5. Conclusion

L'expérience de lancer une étude hydraulique pour ce grand projet a permis de tirer les enseignements suivants :

- La nécessité d'un investissement dans les moyens de collecte de la donnée hydrologique,
- L'apport très important de ces études dans la maîtrise du contexte hydrologique régional,
- Malgré le régime aride qui caractérise la zone du sud du Maroc, celle-ci possède un réseau hydrographique développé pouvant générer des crues très important suite aux pluviométries intenses telles que celles de l'année de 2014.
- L'insuffisance des modélisations hydrauliques unidimensionnelles dans certain contexte,
- L'utilité des modélisations bidimensionnelles dans la maîtrise des écoulements dans les zones plate,
- La nécessité de lancer une étude hydraulique indépendante des autres études de tracé et des ouvrages d'art avec le concours d'un bureau d'étude spécialisé dans ce type des études,
- L'impact énorme de l'aspect hydraulique sur l'optimisation des projets routiers en phase de conception et leur viabilité en cours d'exploitation,