



Année Universitaire : 2013-2014



Licence Sciences et Techniques : Eau et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Prévision des crues dans la ville de Fès à l'aide du système de
télémessure

Présenté par:

Shisseh Taha et Er-raji Hatim

Encadré par:

- Mlle Leila Mizane, ABHS,
- Mr H. Tabyaoui, FST - Fès

Soutenu Le 9 Juin 2014 devant le jury composé de:

- Mr. A.Chaouni
- Mr. H.Tabyaoui
- Mme F.ElHammichi



Stage effectué à : ABHS, Fès.



Tables des matières



CHAPITRE 1 : CONTEXTE DU PROJET.....	3
I. PRESENTION DE L'AGENCE DU BASSIN HYDROLIQUE DE SEBOU.....	3
II. PROBLEMATIQUE DU STAGE.....	4
CHAPITRE 2 : LE SYSTEME DE TELEMESURE	6
I. LA DEFINITION DU SYSTEME DE TELEMESURE	6
1. Définition du système de télémessure.....	6
2. Fonctionnalités attendues du système de télémessure.....	7
3. Matériel utilisé dans le système de télémessure	7
II. LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE TELEMESURE.....	10
1. Définition d'un Radar	10
2. Procédure de mesure suivie par le système de télémessure	11
III. UTILITE DU SYSTEME DE TELEMESURE.....	11
1. Mesure des niveaux d'eau des rivières.....	11
2. Courbe de tarage	12
2.1. Définition du débit	12
2.2. la méthode de mesure du débit d'un cours d'eau.....	12
2.3. l'utilité d'une courbe de tarage	13
CHAPITRE 3 : RESEAU D'ANNONCE DE CRUES DANS LA VILLE DE FES.....	14
I. STATIONS DE MESURE DES NIVEAUX D'EAU	14
1. Informations générales sur les oueds et les stations concernés par l'étude.....	14
1.1. Présentation des oueds.....	14
1.2. Présentation des stations de mesure	15
1.3. Carte de répartition des Stations de mesure dans la région de Fès.....	16



II. SEUILS D'ANNONCE DES CRUES POUR LA REGION DE FES.....	17
1. Seuils des crues Pour les oueds.....	17
2. Seuils des crues pour chaque station.....	18
III. EXEMPLE DE DEUX STATIONS : AIN CHEGAG ET AUTOROUTE	18
1. Exemple de la station de Ain Chegag	19
2. Exemple de la station de l'Autoroute.....	23
IV. DEVELOPPEMENT DES DONNES TRANSMISES PAR LE SYSTEME DE TELEMESURE	26
1. Données de télémessure	26
1.1. Procédures du développement des données	26
1.2. Présentation des données en courbes.....	27
1.2.1. Station d'Ain Chegag	27
1.2.1.1. Courbes des valeurs journalières du niveau d'eau de la station d'ain Chegag	27
1.2.1.2. Courbes des valeurs mensuelles du niveau d'eau de la station d'ain Chegag	30
1.2.1.3. Interprétation des résultats	31
1.2.2. Station de l'Autoroute	31
1.2.2.1. Courbes des valeurs journalières du niveau d'eau de la station d'autoroute.....	31
1.2.2.2. Courbes des valeurs mensuelles du niveau d'eau de la station d'autoroute	34
1.2.2.3. Interprétation des résultats	36
2. Erreurs et Problèmes rencontrés.....	36
3. Solutions proposées	39
CONCLUSION & PERSPECTIVES	41
LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	42
BIBLIOGRAPHIE	43
WEBOGRAPHIE	43



CHAPITRE 1 : CONTEXTE DU PROJET

I. Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS)

L'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou est un Etablissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, l'Agence de Bassin gère les ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant à la protection du domaine public hydraulique dans le but d'un développement durable. L'agence est administrée par un conseil présidé par l'autorité gouvernementale chargée des ressources en eau. Elle a pour principales missions :

- L'évaluation, la planification et l'aménagement des ressources en eau ;
- Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau ;
- Le recouvrement des redevances financières ;
- La gestion et la sauvegarde du Domaine Public Hydraulique ;
- L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages hydrauliques ;
- L'assistance technique et la réalisation de prestations aux usagers ;
- Le développement du partenariat, ...

La zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou s'étend sur une superficie de 40 000 km² et englobe 3 Wilayas et 12 Provinces et Préfectures. La population du bassin est de 6.2 Millions d'habitants (RGPH, 2004).

L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou veille à assurer un service de l'eau dans les conditions de qualité et de proximité requises par l'utilisateur notamment à travers :

- La recherche et le dégagement de nouvelles ressources ;
- La garantie de l'allocation des ressources en eau ;
- La prévention contre la pénurie et l'atténuation des effets de la sécheresse ;
- Le contrôle de la sécurité des ouvrages hydrauliques et leur maintenance ;
- L'assistance technique et l'aide financière aux usagers ;



- La participation à la protection de la population et des biens contre les inondations ;
- L'information continue des usagers et des acteurs de l'eau.

II. Problématique du stage

Dans un contexte de changement climatique global, le Maroc est confronté à une nouvelle tendance climatique caractérisée par des épisodes pluvieux courts et intenses. Ce phénomène climatique, cumulé à un aménagement du territoire inadéquat engendre des pertes humaines et des dégâts matériels. Dans la dernière décennie, le secteur de l'eau a connu une transition majeure avec la réforme de la loi sur l'eau (Loi 10/95 en 1995), la création des agences de bassins hydrauliques (ABH) et d'une superstructure décisionnelle – le Conseil Supérieur du Climat et de l'Eau. Après les inondations catastrophiques de ces dernières années, le Maroc a lancé un Plan de Prévention contre les Inondations (PPI).

Dans la région de Fès, ce problème est aussi présent, L'oued Fès qui est un cours d'eau principal du bassin versant, connaît des périodes de crues lors des périodes de précipitations intenses. Le bassin versant d'oued Fès couvre une surface de 879 km² et se compose de trois unités topographiques différentes : le causse du Moyen Atlas au sud, formé de plateaux étagés du sud au nord entre 2020 et 1000 m, le plateau du Saïs, qui représente la partie la moins élevée du bassin versant (600 à 400 m) avec une douce inclinaison (0.1%) du sud vers le nord, et les Rides pré-rifaines, au nord, qui forment une montagne d'altitude moyenne (900 m), surplombant la vallée de l'oued Fès (altitude Minimale: 200 m) par des versants raides et ravinés. La pluviométrie moyenne est comprise entre 979 mm par an sur le causse au sud et 500 mm à Fès, avec une très forte irrégularité intra- et interannuelle. Le temps de concentration des oueds est compris entre 1 h et 5 h selon les affluents de l'oued Fès (Lasri et al. 2011).

C'est ainsi que l'Agence du Bassin hydraulique de Sebou a fait appel à un système de télémesure pour faciliter la tâche en matière de prévention de crues de la ville de Fès. En installant ce système dans les oueds contournant la ville, l'agence peut prévoir les temps de crues, et minimiser ainsi les risques et les pertes humaines et matérielles causées par ces derniers. Dans ce présent rapport, les composantes, le rôle du système de télémesure dans la prévision des crues de la ville de Fès seront discutés, afin de donner une idée plutôt précise que générale sur ce système.



CHAPITRE 2 : LE SYSTEME DE TELEMESURE

I. DEFINITION DU SYSTEME DE TELEMESURE

1. La définition du système de télémesure

La surveillance précise du niveau de la rivière est une condition importante pour pouvoir réagir rapidement et correctement en cas de crue. Le contrôle de hauteur d'eau par le biais d'une lecture sur place engendre un coût important en particulier pour les installations se trouvant dans des régions éloignées. Pour cela l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou a conçu un système de « Télémesure », qui, comme sa définition le montre (élaboration et transmission d'un signal porteur d'un résultat de mesure) a pour but, de mesurer les hauteurs des rivières souhaitées tout en installant des radars sur les rives. Ces stations de mesure envoient les données vers le serveur de l'agence par Gsm ou elles seront stockées dans la base de données du système.

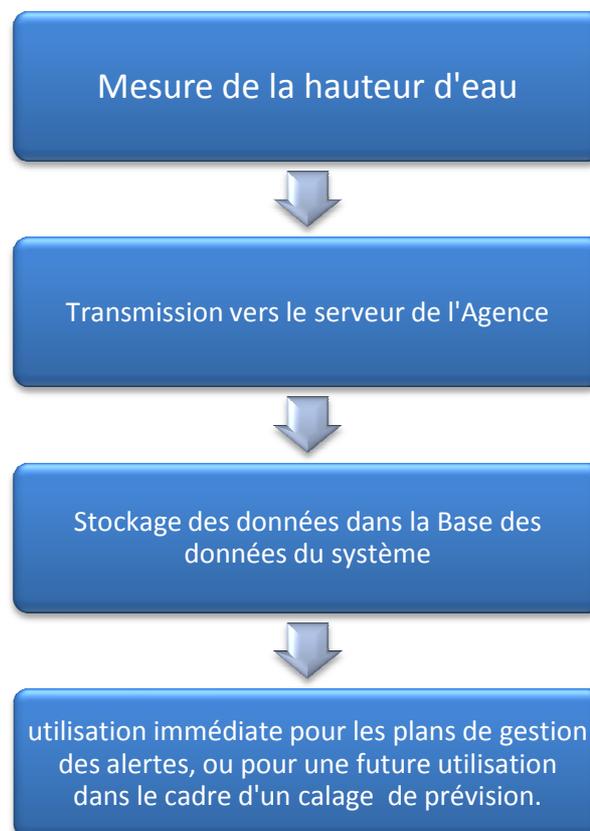




Figure 2 : schéma qui montre les étapes suivies par le système de télémesure pour disponibiliser les données.

2. Fonctionnalités attendues du système de télémesure

Le système de télémesure doit accomplir beaucoup de tâches, nous citons :

- L'acquisition des données : en double options, à travers l'interrogation de la centrale d'acquisition par le poste central, ou l'auto transmission des données par les capteurs. Les mesures physiques étant faites soient en temps réel ou par intégration sur intervalle d'échantillonnage configurable ;
- Le traitement des données hydro-pluviométriques de base : ces traitements doivent intégrer la vérification des données (vraisemblance et limites), l'organisation en base de données, et le calcul de paramètres statistiques (Somme, Moyenne, Maxi, Mini, Écart type ...etc.) ;
- La visualisation des données : brutes, en temps réel, archivés ou traités, ainsi que les graphes et les schémas d'évolution des informations collectées ;
- Le stockage des données tant historiques qu'en temps réel sur support informatique ;
- La transmission des données vers le poste central via le système de télécommunication ;
- La gestion du système et la supervision des équipements : afin de surveiller l'état opératoire des capteurs, l'alimentation électrique et la transmission des données. Le système peut également intégrer la gestion de la maintenance préventive ;
- La gestion des alarmes : à seuil programmable pour les niveaux d'eaux dans les cours d'eau et les cumuls des précipitations collectées.



3. Matériel utilisé dans le système de télémessure

Le matériel utilisé pour la surveillance continue des niveaux d'eau des oueds est composé de :

- Un radar à impulsions : Le capteur est de type **radar**, il est installé au niveau des sections de contrôle des oueds. Il est renfermé dans un boîtier en acier inoxydable, protégé contre le vol, et installé à une hauteur permettant sa protection contre les submersions en grandes crues. L'installation est faite, généralement à l'aide d'un poteau ou d'un bras support afin de permettre d'atteindre l'axe des cours d'eau et de protéger le capteur des éventuels actes de vandalisme. Ce capteur aide à avoir une mesure exacte et continue du niveau d'eau, le temps de prise des mesures est chaque minute. Ce type de radar émet des impulsions de signal hyperfréquence à forte puissance. Chaque impulsion est suivie d'un temps de silence plus long que l'impulsion elle-même, temps durant lequel les échos de cette impulsion peuvent être reçus avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise. Direction, distance et parfois, si cela est nécessaire, hauteur ou altitude de la cible, peuvent être déterminées à partir des mesures de la position de l'antenne et du temps de propagation de l'impulsion émise.

Tableau 1 : spécifications techniques indicatives du capteur du niveau

Principe de fonctionnement	Radar
Plage de mesure	De 0.2 à 20 m
Conditions de fonctionnement	Température -40÷70 °c Humidité relative 0 - 100%
Installation	Surplombant la section de contrôle à une hauteur supérieure au niveau des plus hautes eaux



Installation

Poteau avec bras de support

- Boitier GSM/Datalogger ou plate forme d'aquisition : Cette boite est liée au capteur Radar. Ce dernier transmet les mesures vers ce boitier qui seront enregistrées dans le datalogger (enregistreur des valeurs de mesure individuelles et des séries de mesure sur une longue période), et transmises au serveur de l'agence pour être stockées par la suite.
- Batterie : la batterie se trouve dans le boitier, elle est alimentée à travers un panneau solaire, le dimensionnement de ce dernier assure une autonomie énergétique de 30 jours. La tension de la batterie est contrôlée par la station, mesurée (comme les autres valeurs hydrologiques) et envoyée à la centrale de façon à pouvoir prévenir une éventuelle perte de charge sans le risque de mise hors de service. Si la tension relevée est inférieure à un minimum compatible avec le bon fonctionnement de cette station, alors, une alerte sera déclenchée.
Le panneau solaire convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique. Il est composé de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs qui peuvent libérer leurs électrons sous l'action d'une énergie (ici l'énergie lumineuse). La libération des électrons des matériaux constituant les cellules sous l'action des photons permet ainsi la production d'un courant électrique. Ce courant électrique est celui qui permet l'alimentation autonome de la batterie de ce système.
- Serveurs et écrans d'affichage : Le système est composé aussi de deux serveurs centraux installés au poste de commande au niveau de l'ABHS à Fès, un normal et un de secours. Les deux serveurs sont munis d'éléments matériels et logiciels permettant l'acquisition automatique des données par interrogation à distance des stations. Le logiciel du serveur permet, en plus de la fonction acquisition, de visualiser les données et le stockage de ces derniers sur une base de données, ainsi que la gestion des anomalies de réception des données à travers des alertes. Ainsi, l'utilisateur pourra à tout moment visualiser des données brutes actuelles ou historiques. Le



logiciel permet également la définition des alarmes visuelles, avec plusieurs seuils définissables par l'utilisateur, sur les niveaux atteints par les mesures hydrologiques sur les cours d'eau. Le logiciel intègre aussi un module spécialement conçu pour permettre d'afficher (à travers des écrans) et d'analyser les données hydrologiques saisies par le système de télémesure selon des formats tabulaires, numériques et graphiques à des fins d'alerte aux crues et inondations pour la ville de Fès.

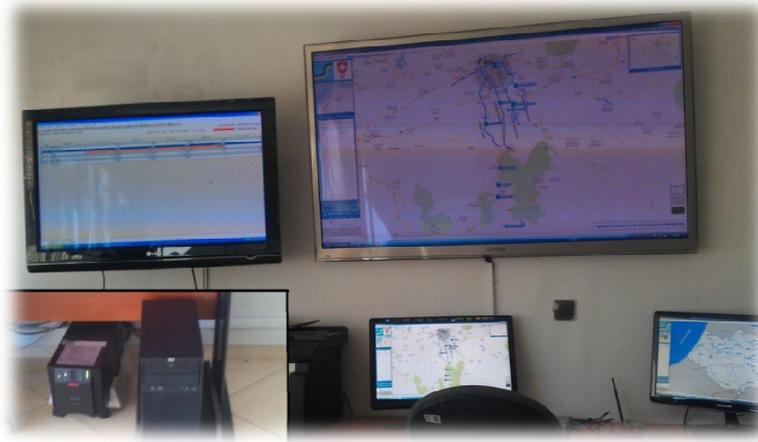


Figure 3 : Photo du serveur et des écrans mises en place dans l'ABHS

II. LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE TELEMESURE

1. Définition du Radar

Des impulsions hyperfréquences très courtes sont diffusées sur le produit à mesurer, reflétées par la surface du produit et réceptionnées par le système d'antennes. La durée de l'envoi à la réception des impulsions hyperfréquences est proportionnelle au niveau dans la rivière. Un procédé spécial d'extension du temps permet d'effectuer une mesure sûre et précise durant un laps de temps très court.

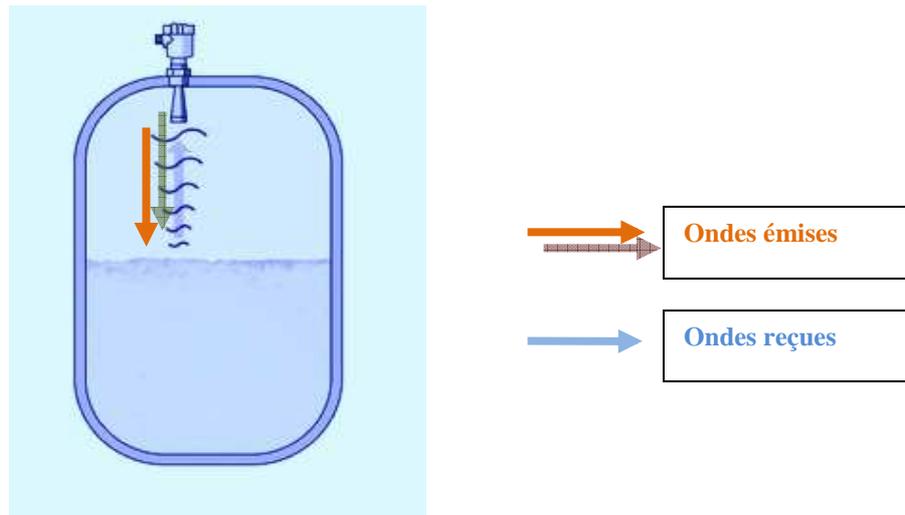


Figure 4 : principe d'émission/ réception d'un capteur Radar

2. Procédure de mesure suivie par le système de télémessure

En utilisant ce système Radar, on peut suivre l'augmentation ou la diminution du niveau d'eau. Cela se fait par des ondes émises par le matériel et leur temps d'arrivée après réflexion, les valeurs obtenues sont calculées automatiquement par l'installation, et sont transmises vers le serveur de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou.

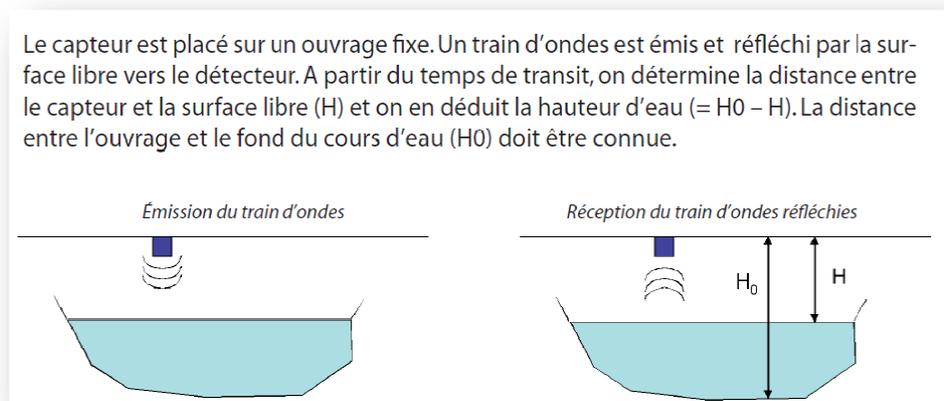


Figure 5 : schéma expliqué montrant la procédure de mesure du niveau d'eau que suit un Radar

III. UTILITE DU SYSTEME DE TELEMESURE

1. Mesure des niveaux d'eau de rivières



le niveau d'eau d'une rivière peut varier d'une saison à l'autre, ou d'une région "climatique" à l'autre selon le taux de pluviométrie, le degrés de température, et la pente des régions par lequel le chenal de la rivière passe. Par exemple, pendant des saisons et dans des régions à pluviométrie élevée, il est fort possible que des crues importantes se produisent, la pente aussi est un facteur de risque majeur. Dans une région à pente élevée, les villes en aval courent le risque d'être submergées par l'eau. Pour cela, le système de télémessure est conçu pour détecter la hauteur du niveau d'eau d'une rivière afin de prévoir le temps de crue et faciliter ainsi l'alerte aux crues.

2. Courbe de tarage

Cette courbe est utilisée pour déterminer le **temps de réponse du bassin versant** suite aux événements pluviométriques. Elle représente le débit en fonction des hauteurs des niveaux d'eau d'une rivière.

2.1. Définition du débit

Le **débit du cours d'eau**, noté « Q » et exprimé en m³/s ou l/s, représente le volume total d'eau qui s'écoule à travers une section droite du cours d'eau pendant l'unité de temps considérée. Sa mesure est du ressort de la débitmétrie. Sa formule s'écrit comme suit :

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = V(\text{m}/\text{s}) \quad \times \quad S (\text{m}^2)$$

- Q : débit du cours d'eau.
- V : vitesse du cours d'eau.
- S : section du cours d'eau.

2.2. La méthode

On calcule le débit à partir du champ de vitesse déterminé dans une section transversale du cours d'eau (en un certain nombre de points, situés le long de verticales judicieusement réparties sur la largeur du cours d'eau), ce champ de vitesse est calculé en lançant un bâton dans sur le cours d'eau dans différents points, après on déduit une vitesse moyenne, c'est la vitesse du cours d'eau. Parallèlement à cette exploration du champ de vitesse, on relève le profil en travers du cours d'eau en mesurant sa largeur (L) et en effectuant des mesures de profondeur (P).

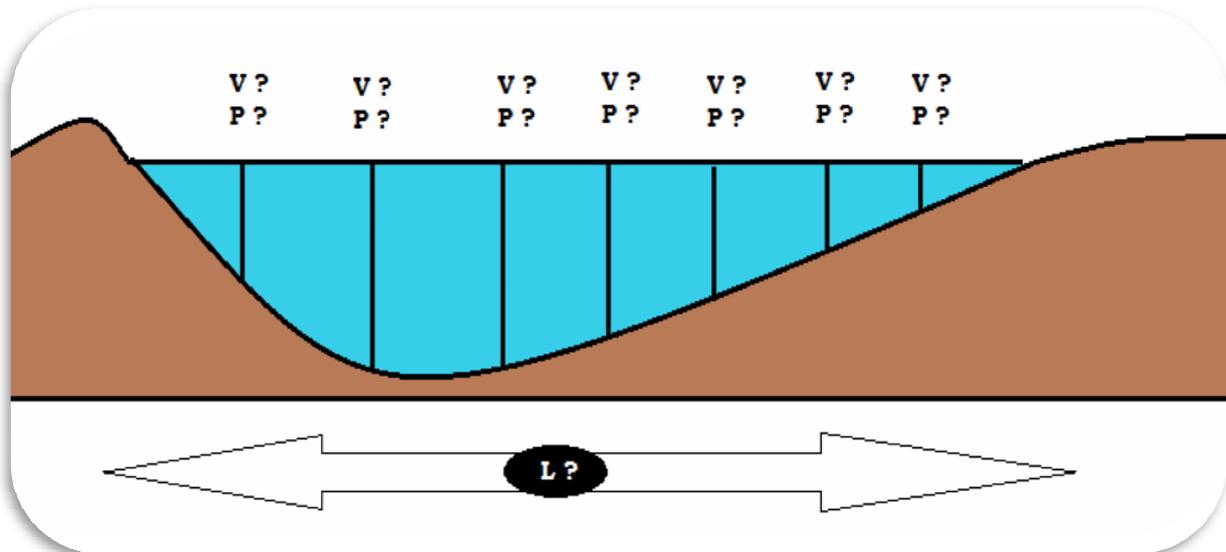
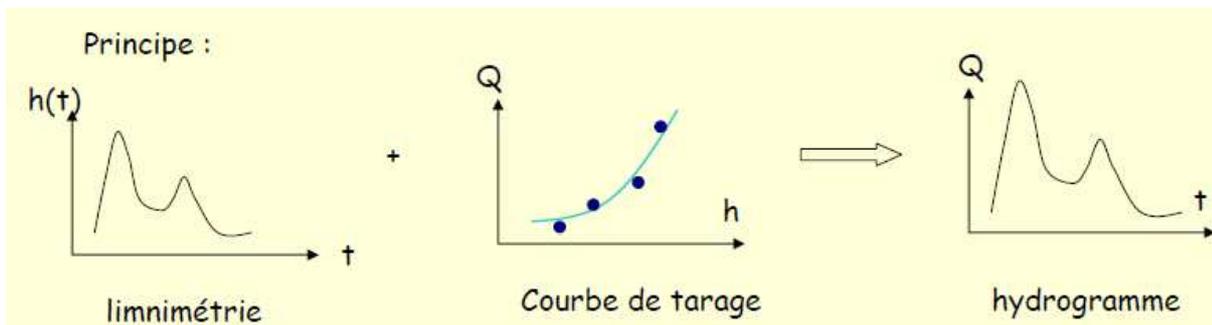


Figure 6 : méthode de mesure des paramètres (Vitesse, Profondeur, Largeur) d'un cours d'eau pour déduire le débit :

2.3. Utilité de la courbe de tarage

La courbe de tarage, en plus de la courbe de variations des hauteurs d'eau en fonction de temps, peut être transformé en hydrogramme. L'hydrogramme est essentiel pour étudier le temps de crue et de décrue dans une région donné du bassin versant, et à partir de ce dernier, On pourra déduire le régime hydrologique caractéristique du cours d'eau qui est influencé par plusieurs facteurs comme : le régime des précipitations, la nature du bassin versant, sa situation géographique, l'infiltration, etc.



CHAPITRE 3 : RESEAU D'ANNONCE DE CRUES DANS LA VILLE DE FES

I. PRESENTATION GENERALE DES OUEDS ET DES STATIONS CONCERNES PAR L'ETUDE

1. Présentation des oueds

- **Oued Fès** : l'oued Fès représente la principale artère du réseau hydrographique du bassin. Il a une direction SW-NE en traversant la ville de Fès et sa médina sur un tronçon de 24 Km avant de rejoindre l'oued Sebou. Ce cours d'eau apparait au niveau du domaine de Ras el Ma, où il est alimenté par des sources très importantes : Ain rass el Ma, Atrous, Bergama, Sennad, etc. qui lui garantissent un écoulement permanent. Cette permanence soutenue également par une nappe phréatique qui affleure directement dans la vallée de l'oued Fès.
- **Oued Himer** : prend naissance au niveau de Jbelkander, il s'étend sur une distance avoisinant 33.96 km. Les bassins limitrophes sont ceux de l'oued Mehrez à l'Est, et l'oued Chekou à l'ouest. Le cours principal est alimenté à travers plusieurs affluents et chaabats comme oued Ahllal, lekhning, chaabat Mansoura.
- **Oued Chekou** : l'oued chekou prend naissance au niveau d'immouzerkandar, près de DaytHachlaf, alors que son embouchure est située au niveau de Dr Rouazi. Les bassins limitrophes de l'oued Chekou sont : le bassin de l'oued Himmer à l'Est et de l'oued Smen au Nord.



- **Oued Boufekrane** : est situé au niveau de la province de Fès. Il s'étend depuis son embouchure, située au niveau de Fès Jedid jusqu'à environ 28.02 km vers le sud. Les bassins limitrophes sont ceux de l'oued Sebou à l'Est et l'oued el Mehrez à l'Ouest.
- **Oued El Mehrez** : l'oued el Mehrez se situe, également, au niveau de la province de Fès. Son embouchure est située au niveau de Fès Jedid, et il s'étend jusqu'à environ 29.67 km vers l'amont. Les bassins limitrophes sont ceux de l'oued Boufekrane à l'Est, et l'oued Himmer à l'ouest.

1.2. Présentation des stations

Tableau 2 : présentation générale des stations concernées par l'étude :



Station	N°	Oued	Cordonnées Lambert Maroc (m)		Altitude (m)	Surface du Bassin versant (km ²)
			X	Y		
Bab Machoir-Fes	1	O.Fès	536407	384117	376.21	128
Ouled Tayeb-Station essence	2	O.Himer	536814	371346	537.26	42
Ouled Bouabid-Amont AERO	3	O.Mahraz	540382	371614	541.61	92
Route de Sefrou-Usine Zalagh	4	O.Boufekrane	545907	370356	626.63	38
Imouzzer Kander-Ville	5	O.Chekou	535856	346149	1338.92	352
Ain Cheggag-Forces Auxiliaires	6	O.Chekou	532569	364321	656.66	-
Dayat Aoua – Aval dayat Aoua	7	O.Chekou	535889	339789	1480.50	-

1.3. Carte de répartition des Stations de mesure dans la région de Fès

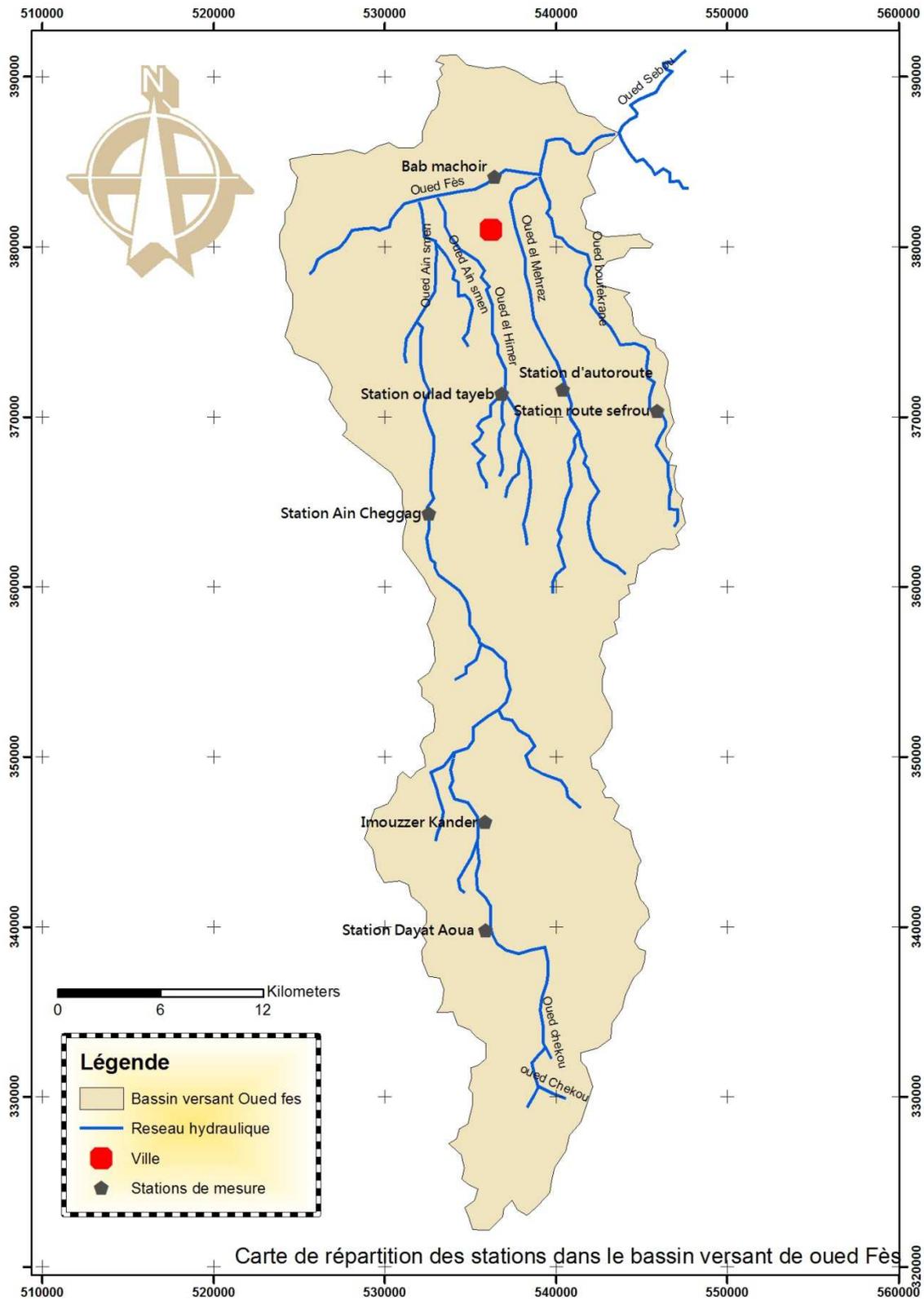


Figure 7 : carte de la répartition des stations dans le bassin de Oued Fès



II. SEUILS D'ANNONCE DE CRUES POUR LA REGION DE FES

2.1 . Seuils des crues pour les oueds

L'étude des cours d'eau de Oued Boufekrane, Oued El Mehrez, Oued El Himer et Oued Chekou a mené à déduire le tableau ci-dessous, présentant les niveaux d'alerte que l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou doit prendre en considération pour lutter contre les dommages des crues, et aussi les seuils (débit, hauteur d'eau) pour chaque oued étudié :

Tableau 3: seuils de crues pour les oueds concernés avec le niveau d'alerte de chaque seuil :

Niveau d'alerte	Indicateur	Seuil O.Boufekrane	Seuil O.el Mehrez	Seuil O.El Himer	Seuil O.Chekou
Veille	Débit (m ³ /s)	< 8	<0.2	<8	<3
	Lame d'eau (m)	< 0.5	<0.5	<0.45	<0.55
Pré-alerte	Débit (m ³ /s)	25-40	02-24	8-25	3-25
	Lame d'eau (m)	0.5-1.50	0.5-1	0.45-0.90	0.55-1.25
Alerte	Débit (m ³ /s)	40-62	24-155	25-65	25-115
	Lame d'eau (m)	1.50-2.50	1-2	0.9-1.25	1.25-2.25
Urgence	Débit (m ³ /s)	>62	>155	>65	>115
	Lame d'eau (m)	>2.50	>2.00	>1.25	>2.25



2.1. Seuils des crues pour chaque station

Tableau 4 : Seuils d'alerte de crues pour chaque station (Année 2011-2012) :

Station	Hauteur d'eau-seuil d'alerte (m)	H max en m	Q max en M3/s
Bab Machoir-Fes	1.0	2.10	33.260
Ouled Tayeb-Station essence	1.0	1.80	15.6
Ouled Bouabid-Amont AERO	1.0	1.74	17.3
Route de Sefrou-Usine Zalagh	0.5	1.9	53.55
Imouzzer Kander-Ville	0.5	1.3	3.56
Ain Cheggag-Forces Auxiliaires	1.0	1.4	15.01
Dayat Aoua - Aval dayat Aoua	0.6	0.87	1.56

III
:
E
X
E
M
P
L
E
D
E
D
E
U
X
S
T

ATIONS DE MESURE

Pour élargir nos connaissances sur les stations de mesure, et le système de télémessure, nous avons effectué des sorties sur terrain dans deux stations de mesure : la station d'Ain chegag et celle d'Autoroute (Lieu dit Ouled bouabid semâa), toute remarque, photo, erreur, seront cités par la suite dans ce rapport.

3.1. Exemple de station d'Ain chegag



Le tableau suivant va présenter tout le matériel mis en place dans la station de mesure :

Matériel	Photo du matériel
Radar à impulsions	
Boitier GSM/Datalogger	



Panneau Solaire (Alimentation de
batterie)



Echelle limnimétrique



Figure 8 : série des photos du matériel de la station de mesure de Ain chegag :



Figure 9 : Photo d'une matériel installé sur la Chekou dans la station

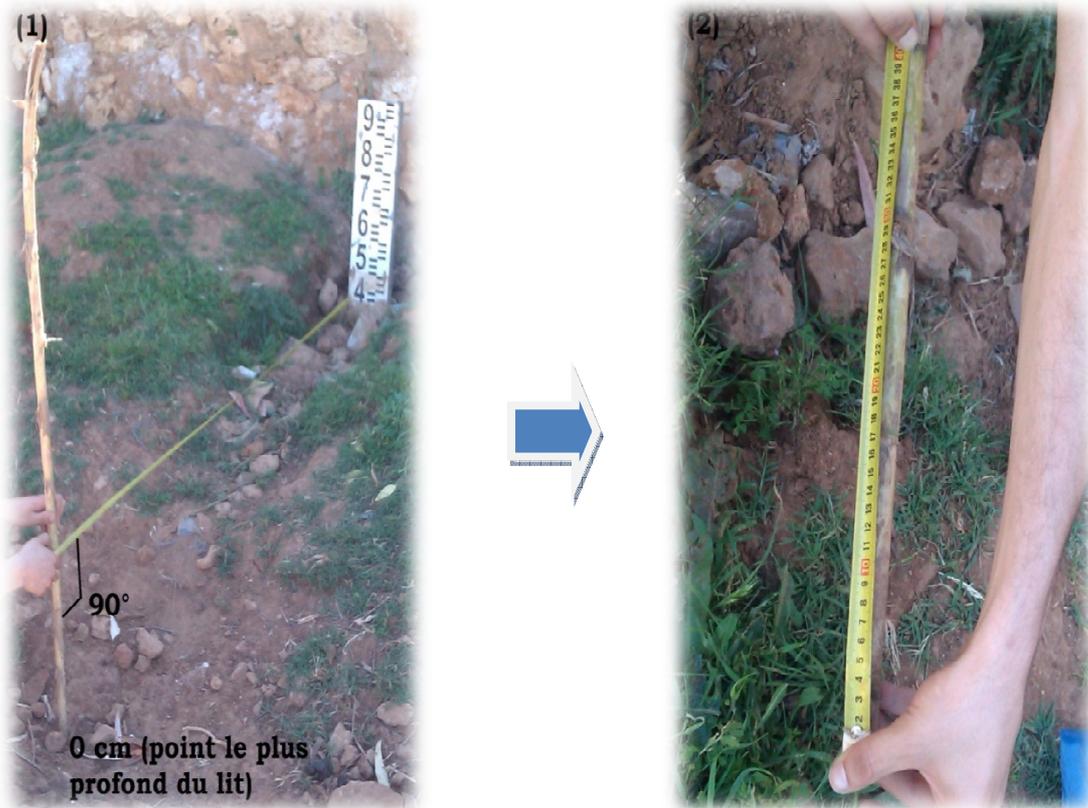
- En plus du

vue de l'ensemble du rive gauche de oued d'ain chegag : matériel installé, on

peut trouver une échelle limnimétrique, qui est une règle ou une tige graduée en métal, placée verticalement, et permettant la lecture directe de la hauteur d'eau à la station. Le zéro de l'échelle limnimétrique doit être placé au-dessous des plus basses eaux possibles dans les conditions de creusement maximum du lit dans la section de contrôle, et ce pour ne pas avoir de cotes négatives.

Pour vérifier la fiabilité de cette échelle, nous avons utilisé une méthode facile à élaborer :

- on a posé un bâton sur le point le plus profond de la rivière(1). Puis, Nous avons établi la verticale entre le bâton et l'échelle limnimétrique, puis on a mesuré la distance entre le point le plus bas et le point le plus élevé de la rivière (que l'échelle limnimétrique montre) (2).



- ✓ L'échelle montre 40 centimètres entre le point de la rive et le point le plus profond du lit, et c'est le même cas de nos mesures. Dans ce cas, on peut dire que les mesures fournies par cette échelle seraient fiables et représenteraient la réalité.
- Le lit de oued Chekou est d'une largeur de 290 cm (2 m 90 cm), sur la section de contrôle où se trouve la station de mesure. Le maximum de profondeur est de -19.5 cm depuis les rives. Ce Maximum doit être pris comme point de référence pour le système Radar installé, afin qu'il puisse nous donner la valeur exacte du niveau d'eau et aussi, pour éviter les valeurs négatives trouvées lors de la période de sécheresse des années précédentes (voir courbes mensuelles des stations pages : 30 et 35).
- Ci-dessous, un dessin du « profil à travers » que l'on a établie en mesurant la profondeur du lit de oued Chekou dans différents points.

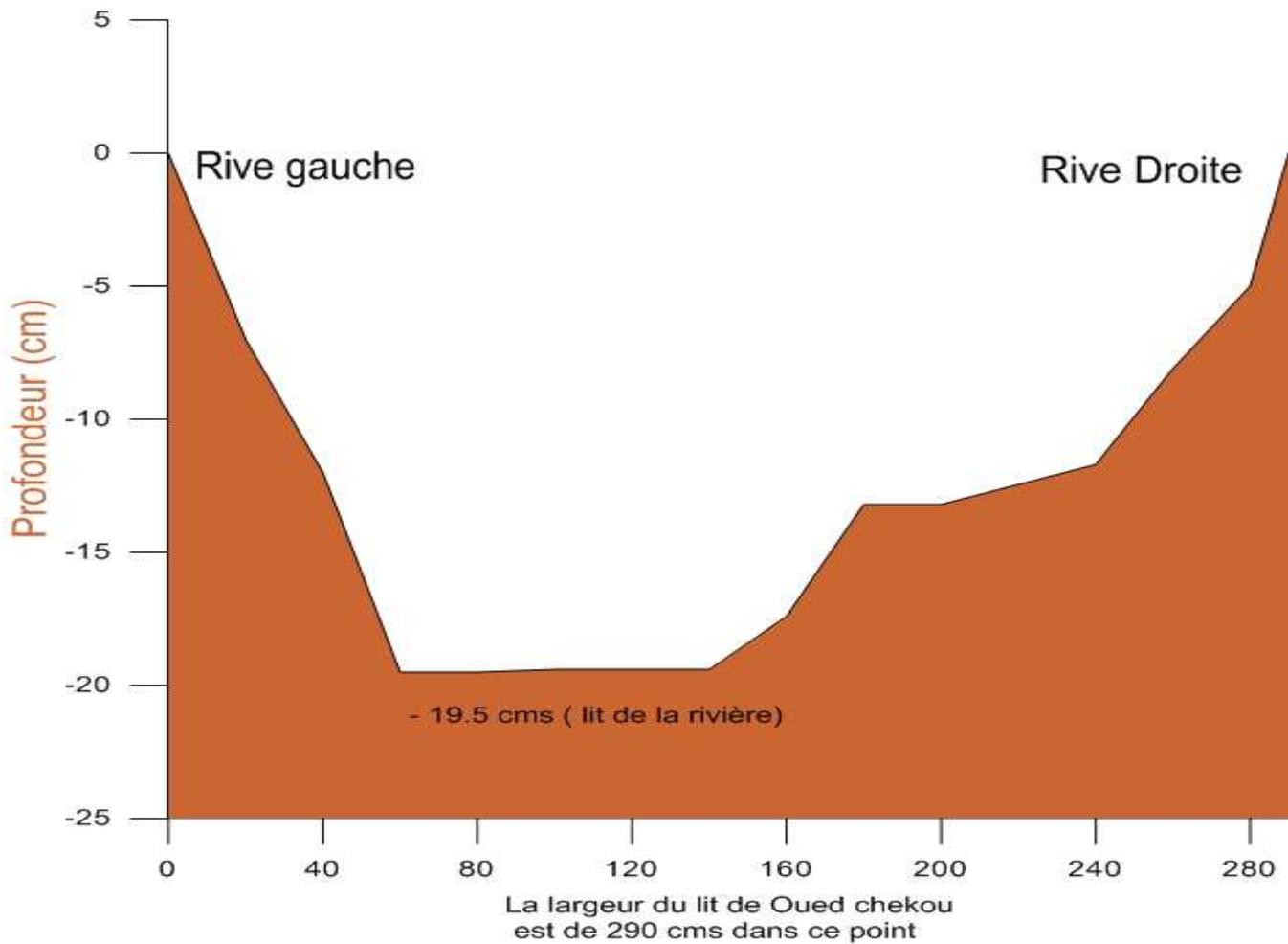


Figure 10 : Graphique du profil en travers du Lit de oued chekou sur la section où se trouve la station de mesure Radar d'ain chegag

3.2. Exemple de la station d'autoroute (Ouled bouabid semâa)

Matériel	Photo du matériel
----------	-------------------



<p>Radar à impulsions</p>	
<p>Boitier GSM/Datalogger</p>	
<p>Panneau Solaire (Alimentation de la batterie)</p>	



Echelle limnimétrique



Figure 11 : série des photos du matériel installé dans la station de mesure d'autoroute :



Figure 12 : vue de l'ensemble du matériel installé sur la rive gauche d'oued el Mehrez dans la station d'autoroute :

- Contrairement à la station de Ain chegag, le 0 de l'échelle dans la station d'autoroute est placé sur les rives de l'oued el Mehrez, tandis qu'il doit être placé sur le point le plus profond du lit. La lecture directe du niveau d'eau sera donc erronée ou impossible.
- Le lit mineur de oued El Mehrez est d'une largeur de 277 cm (2 m 77 cm), sur la section où se trouve la station de mesure, tandis que le lit majeur est d'une largeur de presque 11m. Le maximum de profondeur du lit mineur est de 102 cm depuis les rives, ce Maximum doit être pris comme point de référence pour le système Radar installé, afin qu'il puisse nous donner la



valeur exacte du niveau d'eau et aussi, pour éviter les valeurs négatives trouvées lors de la période de sécheresse des années précédentes.

- Ci-dessous, un dessin du « profil à travers » que l'on a établie en mesurant la profondeur du lit majeur de oued el Mehrez dans différents points.

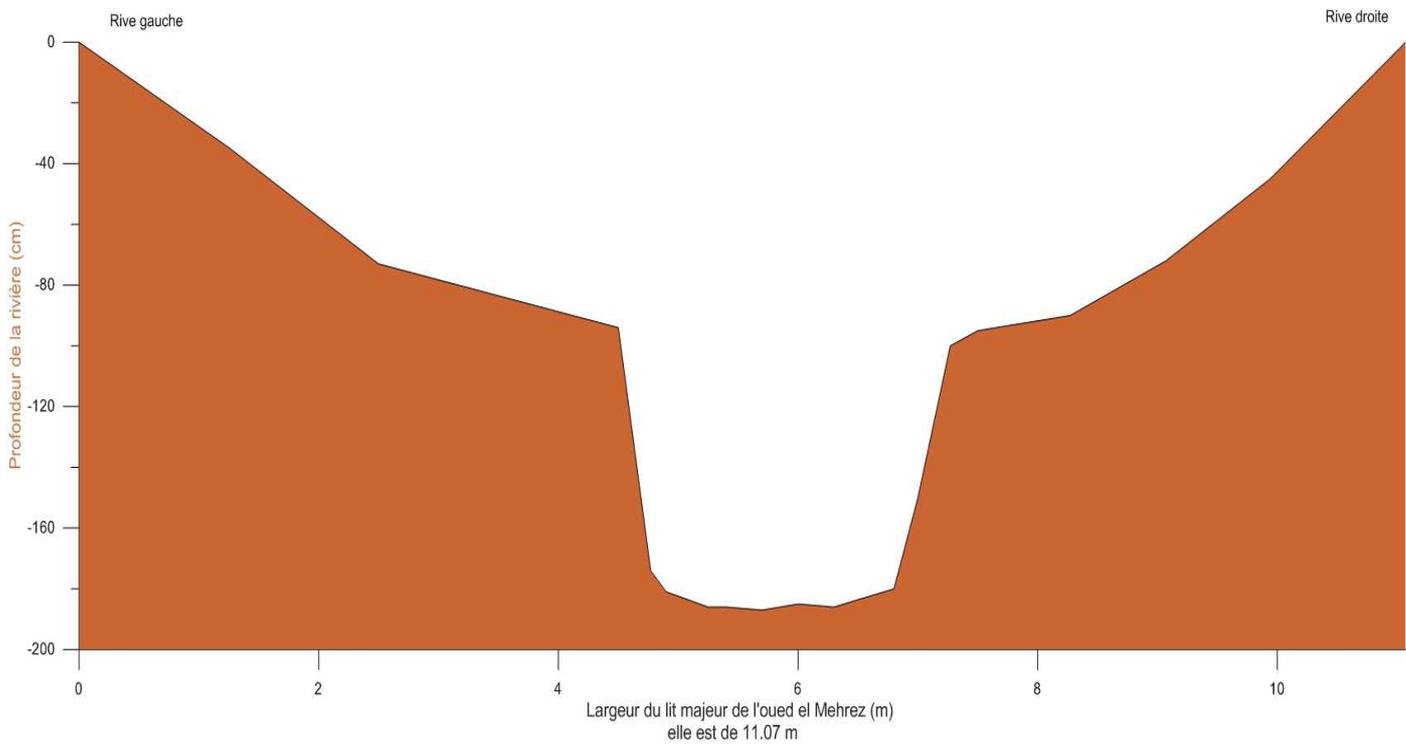


Figure 13 : Graphique du profil à travers du Lit de oued el Mehrez sur la section où se trouve la station de mesure Radar

IV. DEVELOPPEMENT DES DONNES TRANSMISES PAR LE SYSTEME DE TELEMESURE

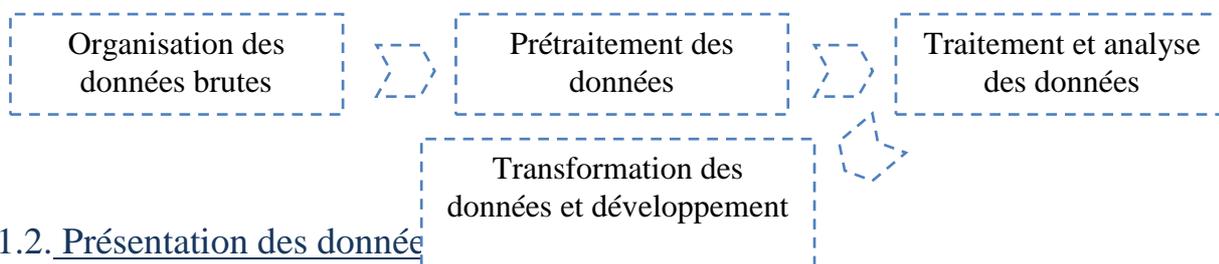
1. Données de télémessure



1.1. Procédure du développement des données de télémessure

Les mesures sont faites par le système, et sont envoyées sous formes de données brutes vers le serveur de l'agence, Après leurs réception, elles sont stockées directement sous format SQL (Structured Query Language), et peuvent être extraites en format Excel, pour être exploiter suivant les étapes ci-dessous :

- Organisation des données : les données doivent être organisées sous forme des classes. Par exemple : Niveau d'eau de chaque jour, de chaque mois, de chaque année, Niveau d'eau de chaque station...
- Prétraitement des données : cette étape consiste à vérifier et à comparer les données organisées pour leur validation, afin éviter et corriger les erreurs faites lors de l'organisation.
- Traitement et analyse des données : cette étape consiste à établir des courbes pour faciliter la comparaison, l'analyse et l'interprétation de données.
- Transformation des données et développement : à cette étape, les données sont prêtes pour être associées à d'autres données (Débit par exemple) afin de développer le travail et créer une courbe de tarage qui va aider à prévoir la période des crues dans une région donnée..



1.2. Présentation des données

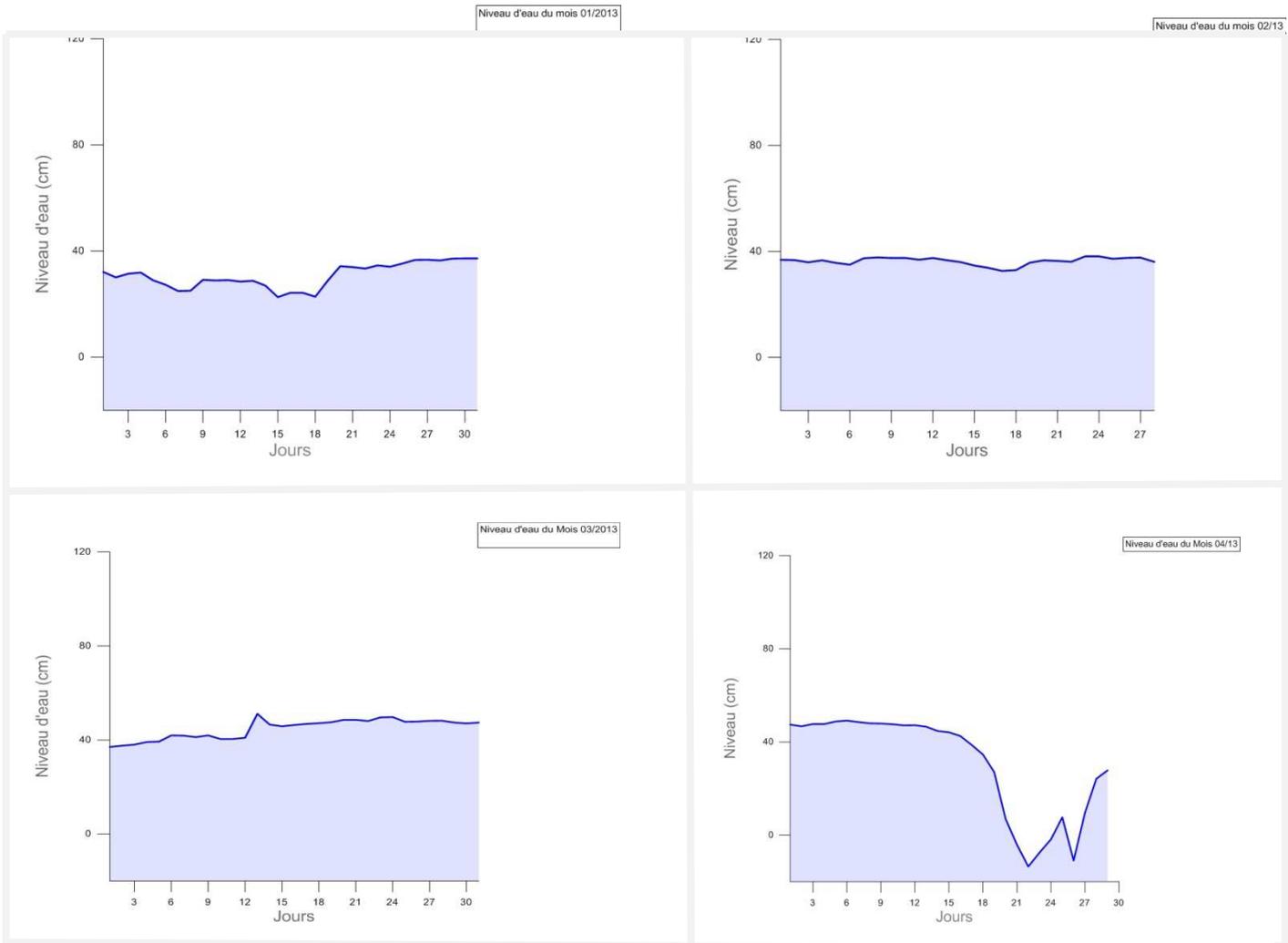
Après étude des données brutes transmises par le système de télémessure toutes les cinq minutes et durant la période du « 1^{er} Janvier 2013 » jusqu'au « 14 Avril 2014 », nous avons calculé les moyennes journalières, mensuelles et annuelles dans deux stations : station d'Ain chegag et

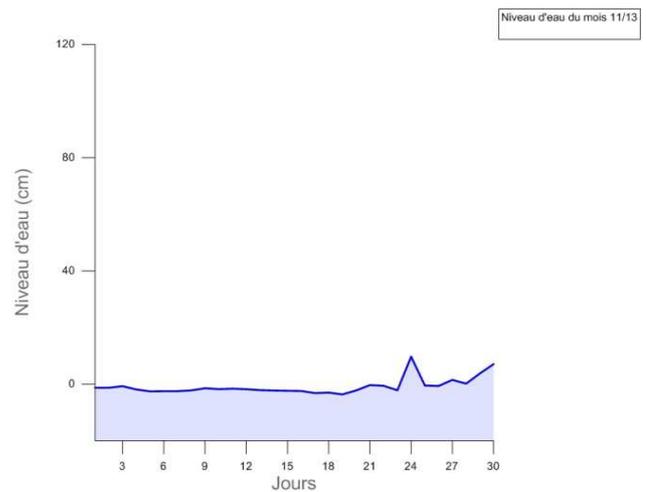
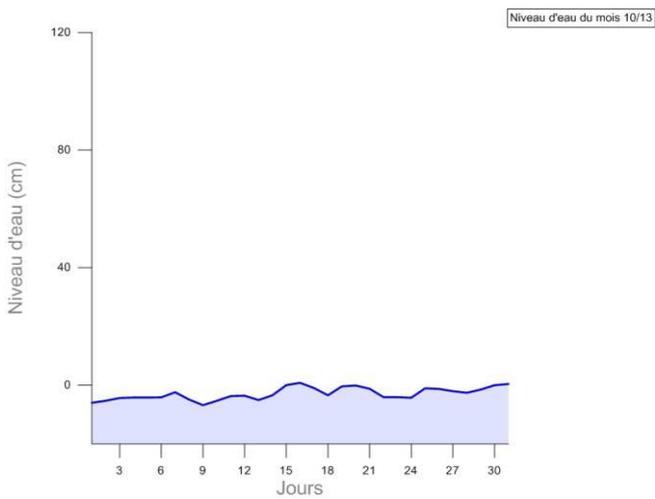
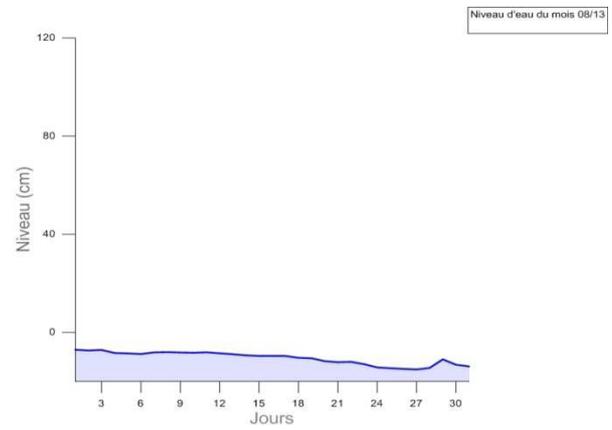
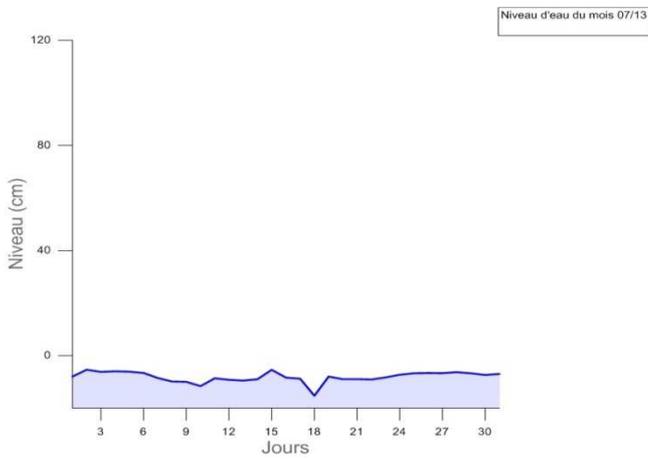
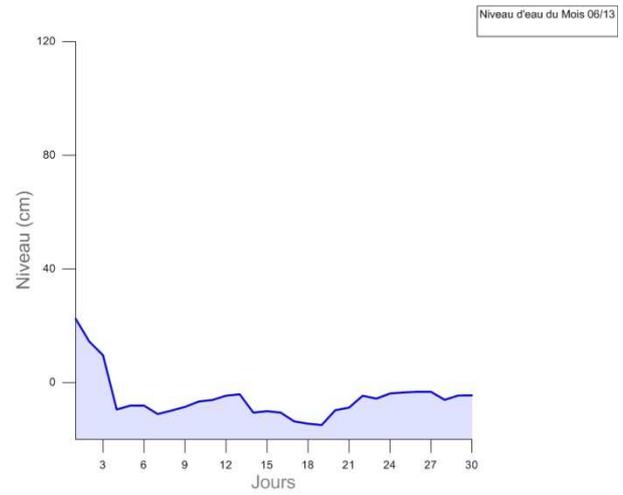
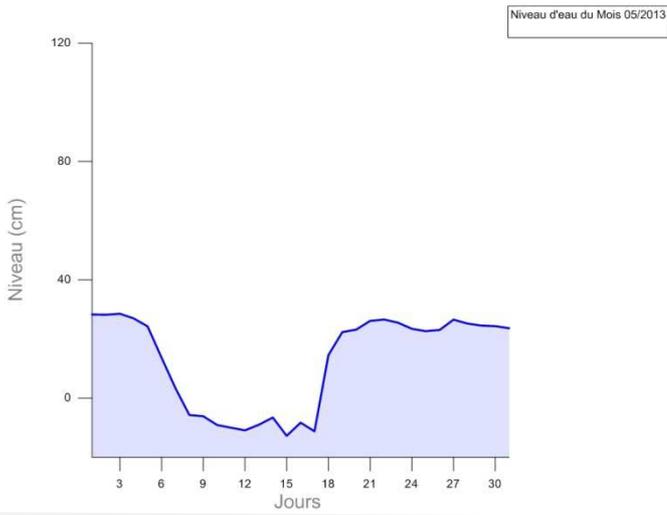


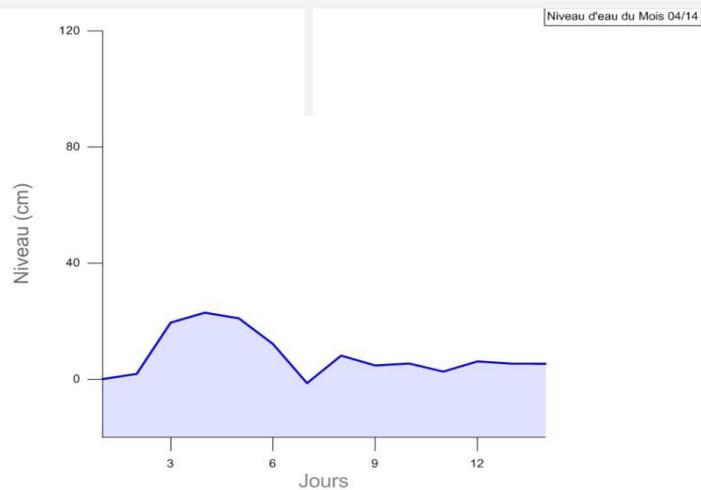
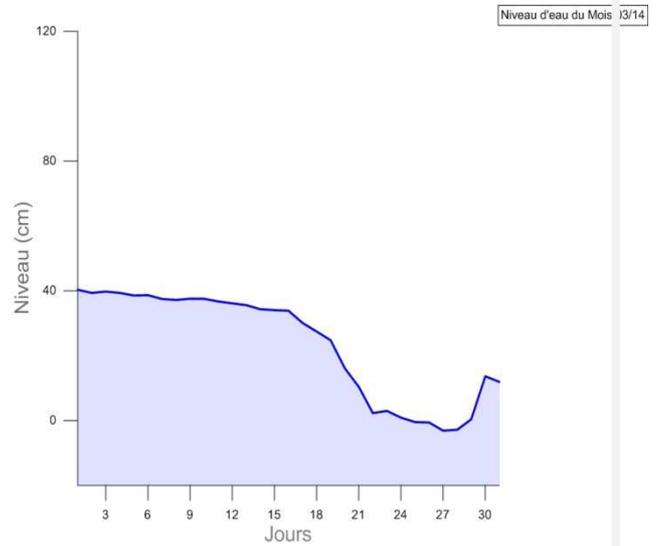
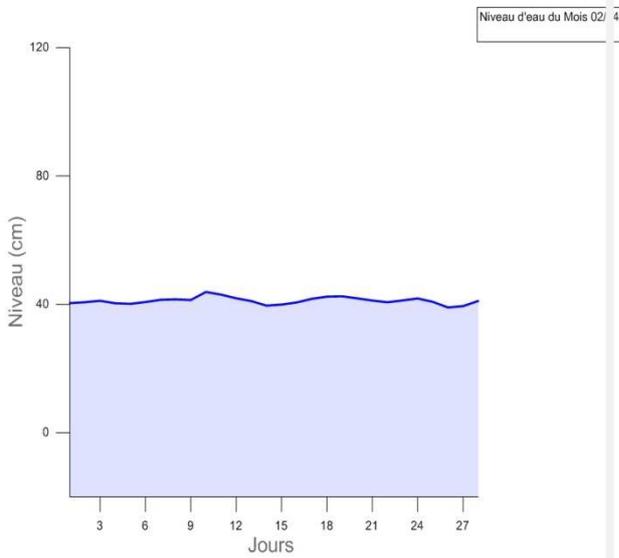
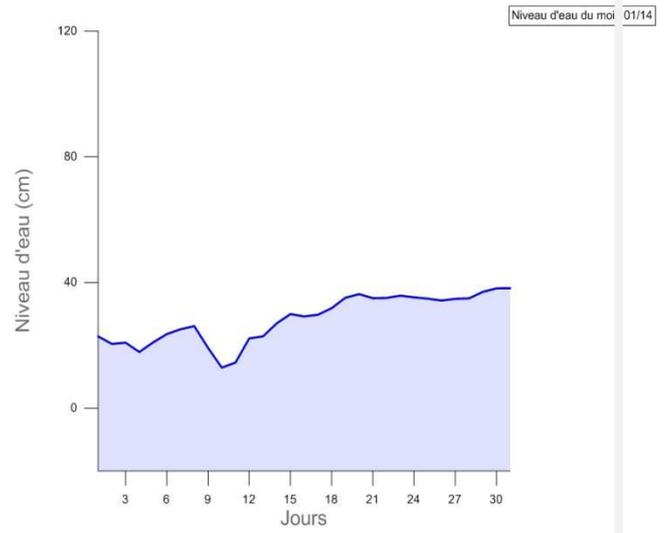
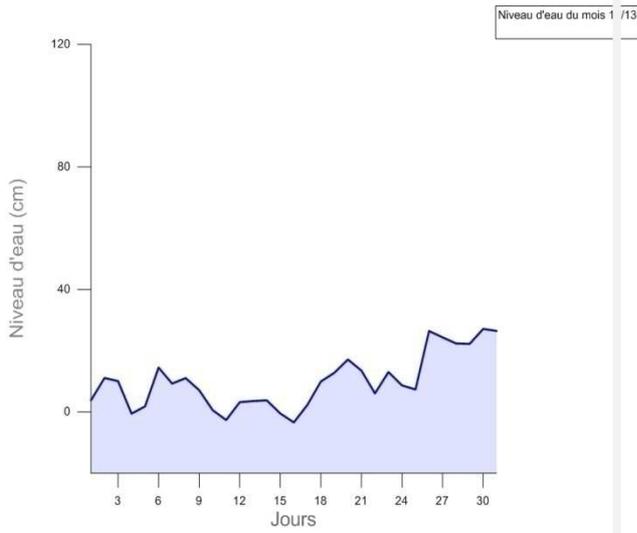
d'Autoroute. Les données sont représentées sous formes de courbes en vue d'analyses et d'interprétation.

1.2.1. Station d'Ain chegag (oued Chekou)

1.2.1.1. Courbes des valeurs journalières du niveau d'eau de la station d'ain chegag









1.2.1.2. Courbes des valeurs mensuelles du niveau d'eau de la station d'Ain chegag

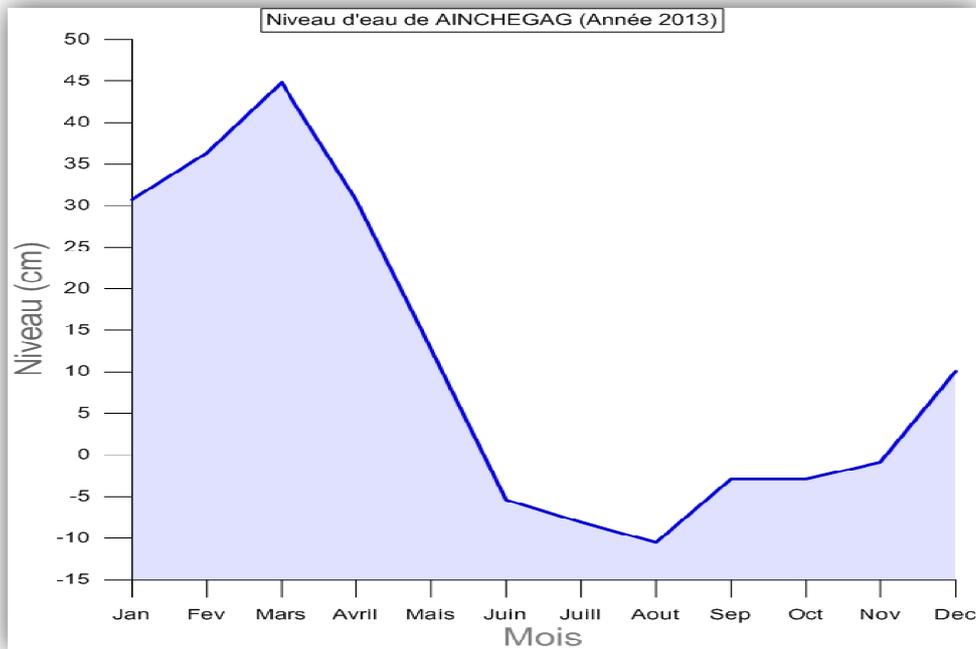


Figure 14 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued chekou pendant l'année 2013

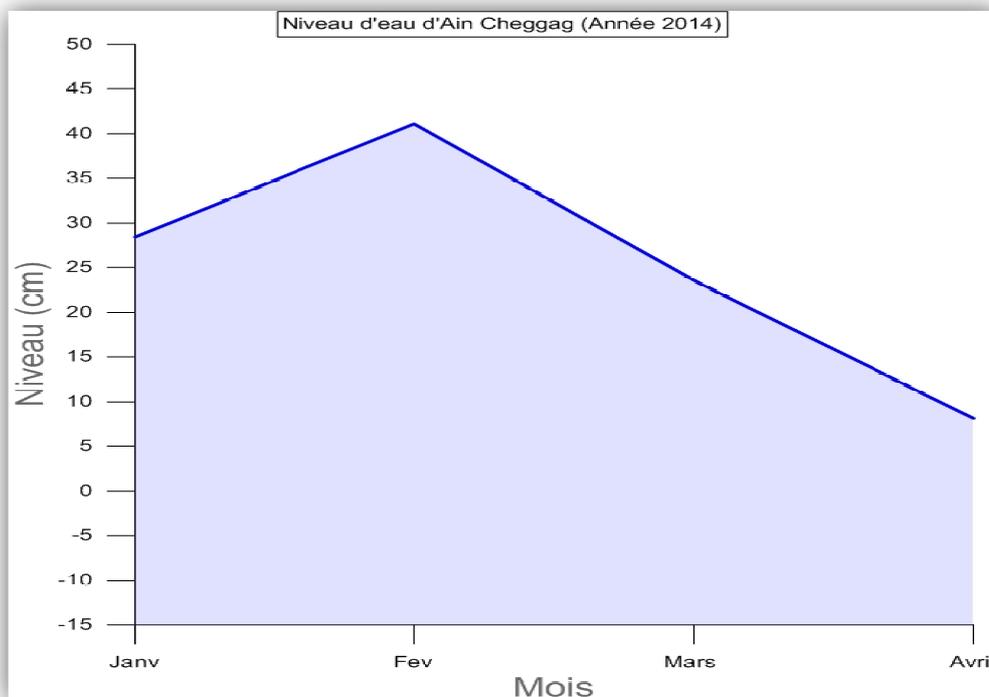




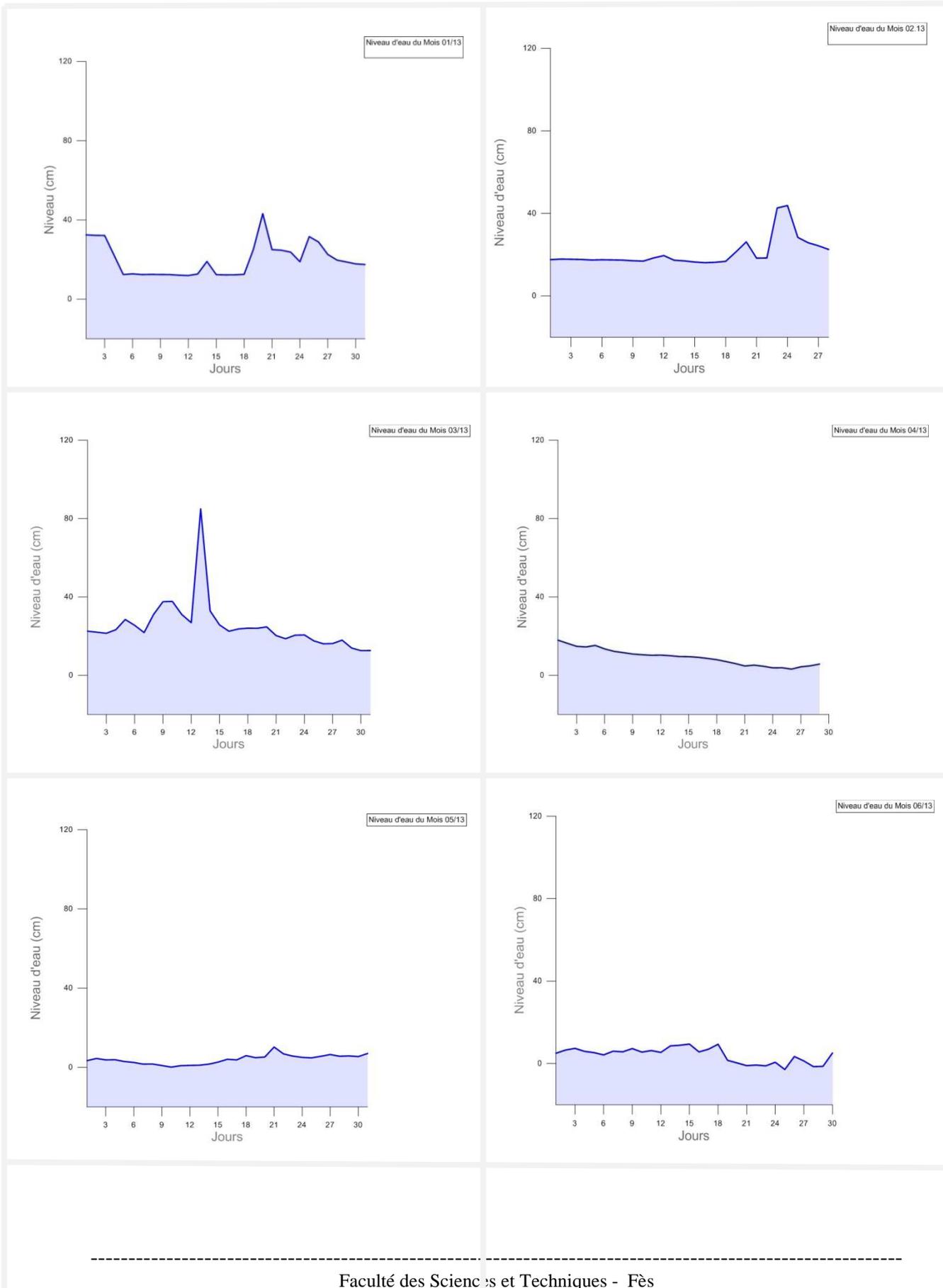
Figure 15 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued chekou pendant l'année 2014

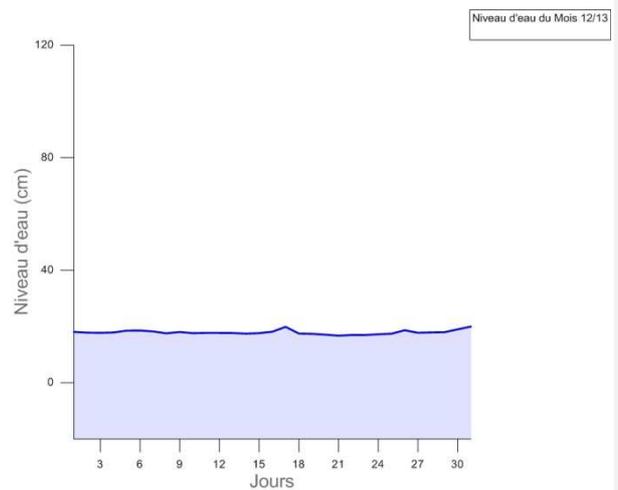
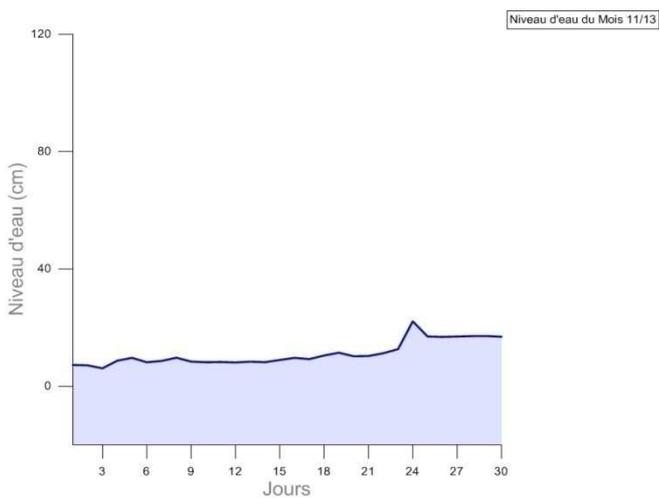
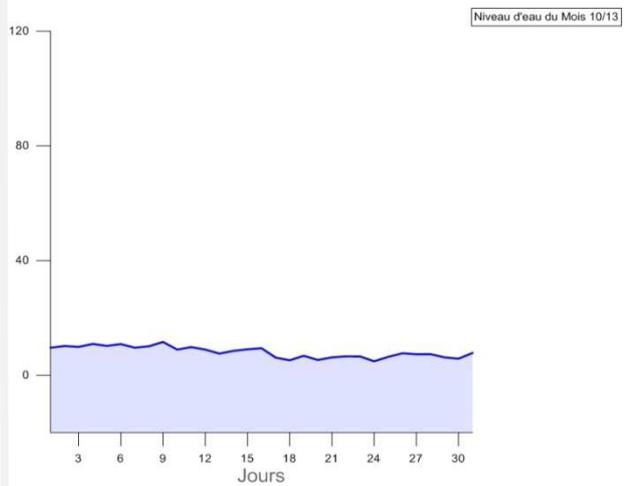
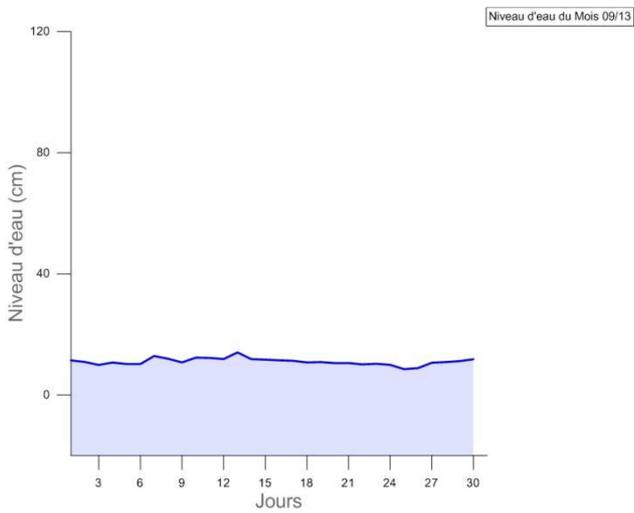
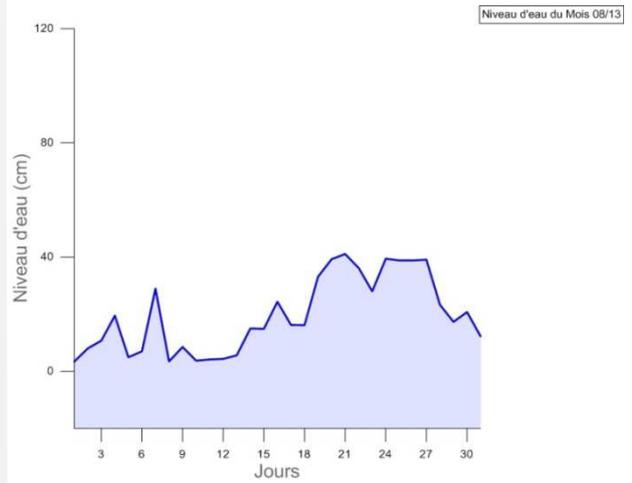
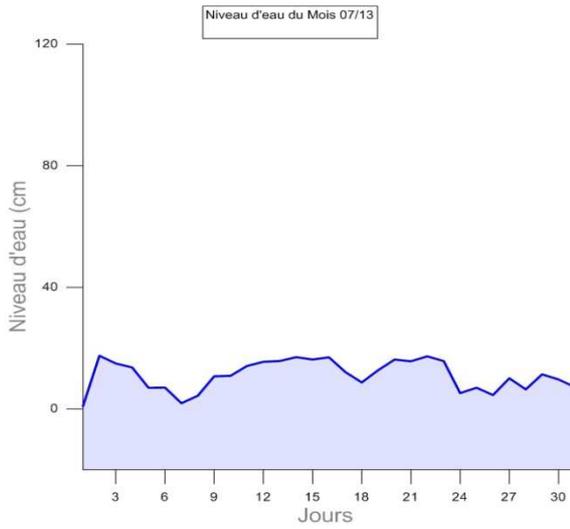
1.2.1.3. Interprétation des résultats

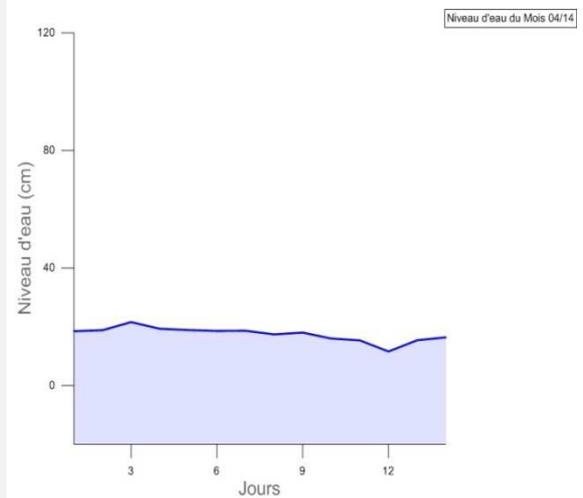
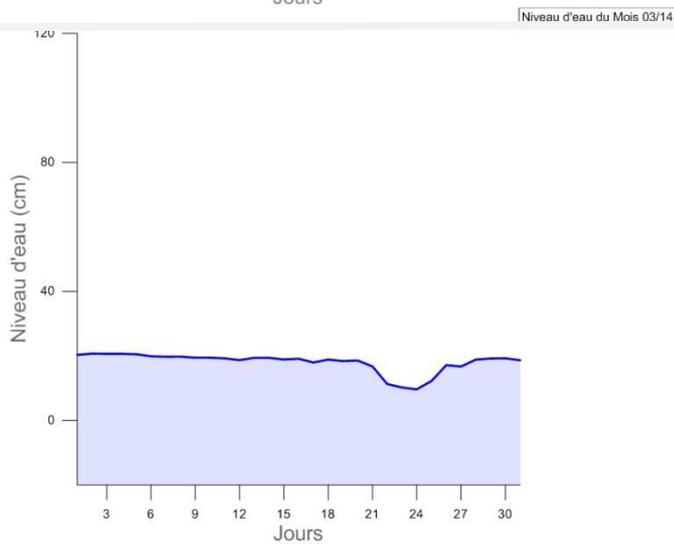
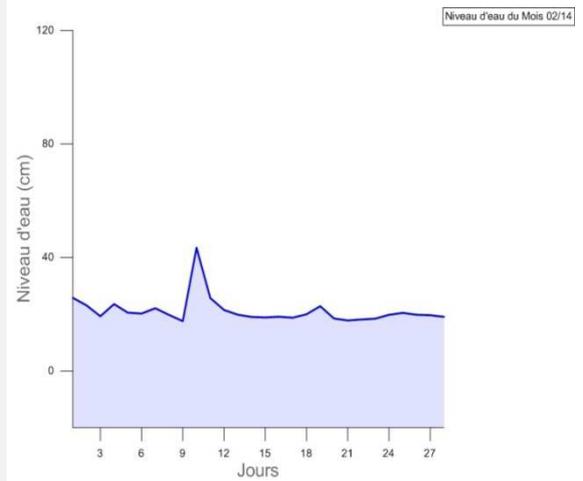
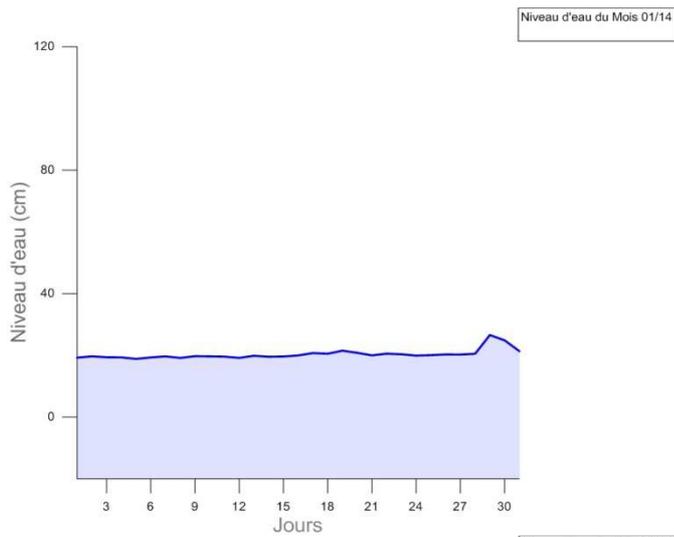
- Le graphique « 3 » montre la variation du niveau d'eau (en cm) d'oued Chekou (axes-Y) au fil des mois de l'année 2013 (axe-X). Le niveau d'eau d'oued chekou mesuré dans la station d'Ain chegag augmente jusqu'à atteindre **une valeur maximale** de 45 cm au Mois de Mars. Après, le niveau d'eau subit une chute jusqu'à atteindre **des valeurs minimales** à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Aout. Puis le niveau commence à augmenter durant les mois de septembre, Octobre, novembre et décembre. l'augmentation du niveau d'eau durant les Trois premiers mois de l'année, et les trois derniers, est du à l'arrivée de la saison ou il y'a le maximum de pluviométrie mensuelle. Les pluies sont un paramètre important et majeur qui influence l'augmentation des niveaux d'eau des rivières, ce qui peut causer lors des périodes à pluviométrie importante, des crues dévastatrices. Par contre, l'arrivée des saisons sèches va causer la diminution du niveau d'eau ou même, dans des cas extrêmes, la disparition de l'eau dans ces rivières.
- En année 2014, et dans le graphique « 4 » le niveau d'eau continue à augmenter jusqu'à atteindre la **valeur maximale** de presque 42 cm au mois de Février, puis diminue vers une valeur de 7 cm au mois d'avril. la différence qu'on peut constater, entre cette année et l'année précédente c'est que, le maximum d'hauteur d'eau dans l'oued chekou est observé En Mars dans l'année 2013, tandis que dans l'année 2014 il est observé en Février, cela peut nous indiquer que la période de crue peut varier d'une année à l'autre dans cette région.
- En général, l'alerte dans ces deux années reste « **veille** », parce que les valeurs maximales n'ont pas dépassé les 55 cm, nous allons conclure que la région de Fès connaît une période de sécheresse.

1.2.1. Station d'Autoroute : (Oued El Mehrez)

1.2.1.1. Courbes des valeurs journalières des niveaux d'eau de la station d'autoroute







1.2.2.2. Courbes des valeurs mensuelles des niveaux d'eau dans la station d'Autoroute

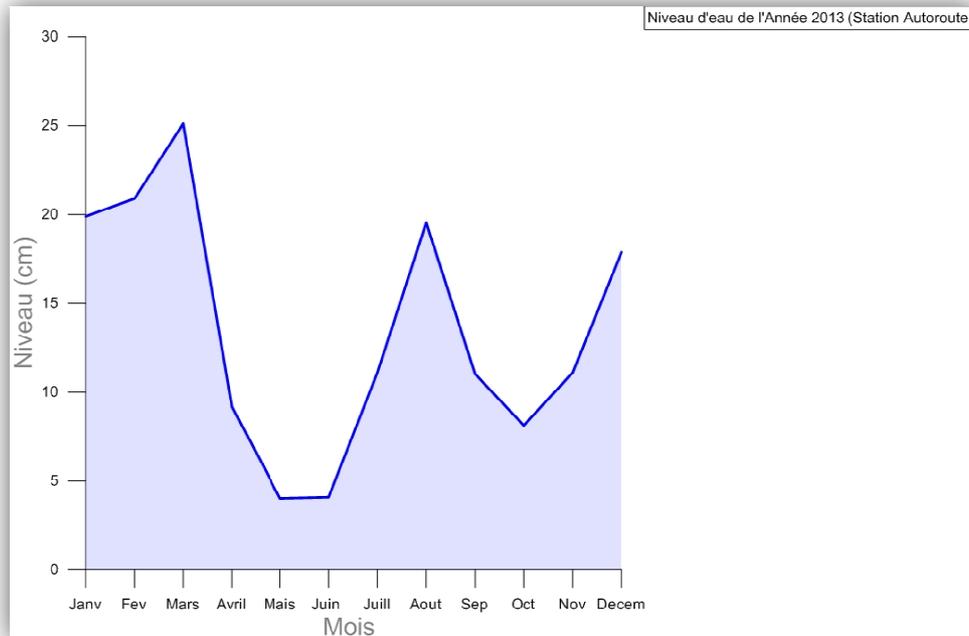


Figure 16 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued el Mehrez pendant l'année 2013

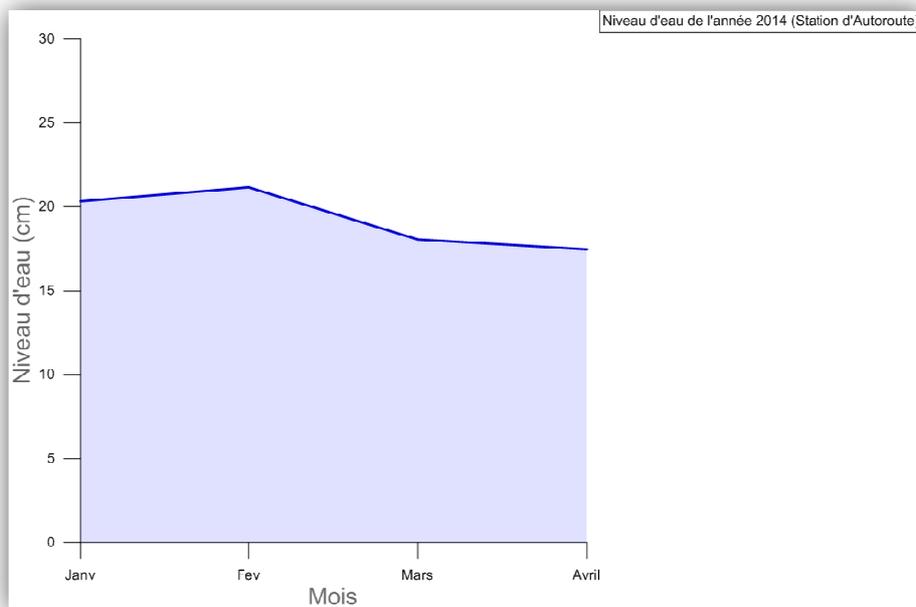


Figure 17 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued el Mehrez pendant l'année 2014

1.2.2.3. Interprétation des résultats



- Le graphique « 5 » montre la variation du niveau d'eau en cm d'oued El Mehrez au fil des mois de l'année 2013, mesuré dans la station d'autoroute. La courbe montre un maximum d'hauteur d'eau de 25 cm dans le mois de Mars. Et un minimum dans les mois de Mai et de Juin. Après, le niveau augmente jusqu'à atteindre une valeur de 18 cm au mois d'aout et diminue vers des valeurs entre 7 et 8 cm vers le mois d'octobre, puis augmente vers une hauteur de 16 cm au Mois de décembre.
- Le maximum d'hauteur d'eau est enregistré lors du mois du février avec une valeur de 23 cm, tandis que le minimum, dans le graphique « 6 », est enregistré lors du mois d'avril avec une valeur de 17 cm.
- L'interprétation de ces deux graphiques nous mène à conclure que la période où il y'a le maximum d'hauteur d'eau est entre le mois de février et le mois de Mars, tandis que le minimum d'hauteur d'eau est enregistré lors des mois de l'été. Cette variation d'hauteur d'eau a une relation directe avec les deux paramètres déjà cités : La pluviométrie ainsi que la température.
- Le niveau d'alerte dans ces deux années reste en état « **veille** » parce que les valeurs du niveau d'eau n'ont pas dépassé les 50 cm, nous pouvons conclure que la région de Fès est en période de sécheresse.
- Remarque : L'augmentation du niveau d'eau dans l'année 2013, précisément au mois d'Aout, est peut être due soit à une erreur dans le système dans cette station, soit à l'arrivée retardataire des eaux dans le cours d'eau d'oued El Mehrez.

2. Erreurs et problèmes rencontrés



- Lors de l'étape de l'organisation, traitement et analyse des données recueillies, les problèmes rencontrés sont :
 - Nous avons constaté qu'il y'a des données (du niveau d'eau) manquantes dans quelques stations. Les données de quelques mois de l'année sont incomplètes.

26/01/2013 10:05:00	98,66
26/01/2013 10:10:00	97,8
26/01/2013 10:15:00	98,09
26/01/2013 10:20:00	98
26/01/2013 10:25:00	98,14
26/01/2013 10:30:00	97,87
26/01/2013 10:35:00	97,87
26/01/2013 10:40:00	97,72
26/01/2013 10:45:00	97,85

Figure 18 : Valeurs manquantes dans les données transmises par la station de Mechouar :

- Les données qui correspondent au niveau de l'eau des rivières comprennent des valeurs négatives, c'est du au fait, lors de l'installation du système Radar sur la rive de l'oued, la valeur 0 était définie en un point bien précis, mais au fur et au mesure que le temps passe, ce point varie.

22/04/2013 22:15:00	-16,45
22/04/2013 22:20:00	-16,76
22/04/2013 22:25:00	-16,91
22/04/2013 22:30:00	-16,94
22/04/2013 22:35:00	-17,04
22/04/2013 22:40:00	-16,7
22/04/2013 22:45:00	-14,93
22/04/2013 22:50:00	-17,08
22/04/2013 22:55:00	-16,99
22/04/2013 23:00:00	-17,04
22/04/2013 23:05:00	-17,17
22/04/2013 23:10:00	-17,08

Figure 19 : valeurs négatives dans les données transmises par la station d'Ain chegag :

On va citer quelques paramètres qui participent fortement à la variation de ce point de référence :

- Erosion du lit de la rivière :

Le creusement du lit de la rivière est conditionné par la vitesse du courant de l'eau, par la pente et même par le type du matériel qui compose le lit. L'eau à forte vitesse, arrache les particules et le matériel du lit, et les emmène à une zone de faible agitation et qui favorise le dépôt (sédimentation), ce qui cause l'enfouissement du lit de la rivière dans le sol et son élargissement d'une part, d'une autre part, l'aval de la rivière (autre rivière à faible agitation, mer, lac..) sera rempli de sédiments et le lit de rivière va s'élever (exhaussement du lit).



Figure 20 : Variation des phénomènes selon la vitesse du courant

En plus de ça, l'érosion ou la sédimentation dans le lit de la rivière peuvent être conditionnées par la forme de la rivière. par exemple, dans le cas d'une rivière à méandres, ces phénomènes peuvent varier d'une rive à la rive qui l'oppose. Donc on doit toujours faire attention lors d'implantation du détecteur radar pour avoir des mesures fiables qui vont nous aider au sujet de prévention des crues.

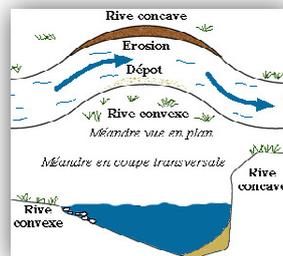


Figure 21 : les différents phénomènes au niveau du méandre d'une rivière

- L'activité humaine :

Elle peut être aussi un facteur non négligeable qui influence la position du point de référence. Par exemple : pour traverser la rivière, les habitants du village ont installé un pont sur les rives d'oued el Mehrez dans la station d'« Autoroute », cela va modifier certainement les paramètres de la rivière (vitesse, débit...). Et comme le montre la photo ci-dessous, on a un côté rempli d'eau dans l'amont, alors qu'il y'a moins d'eau dans le côté aval du cours d'eau ou la station de mesure se trouve.

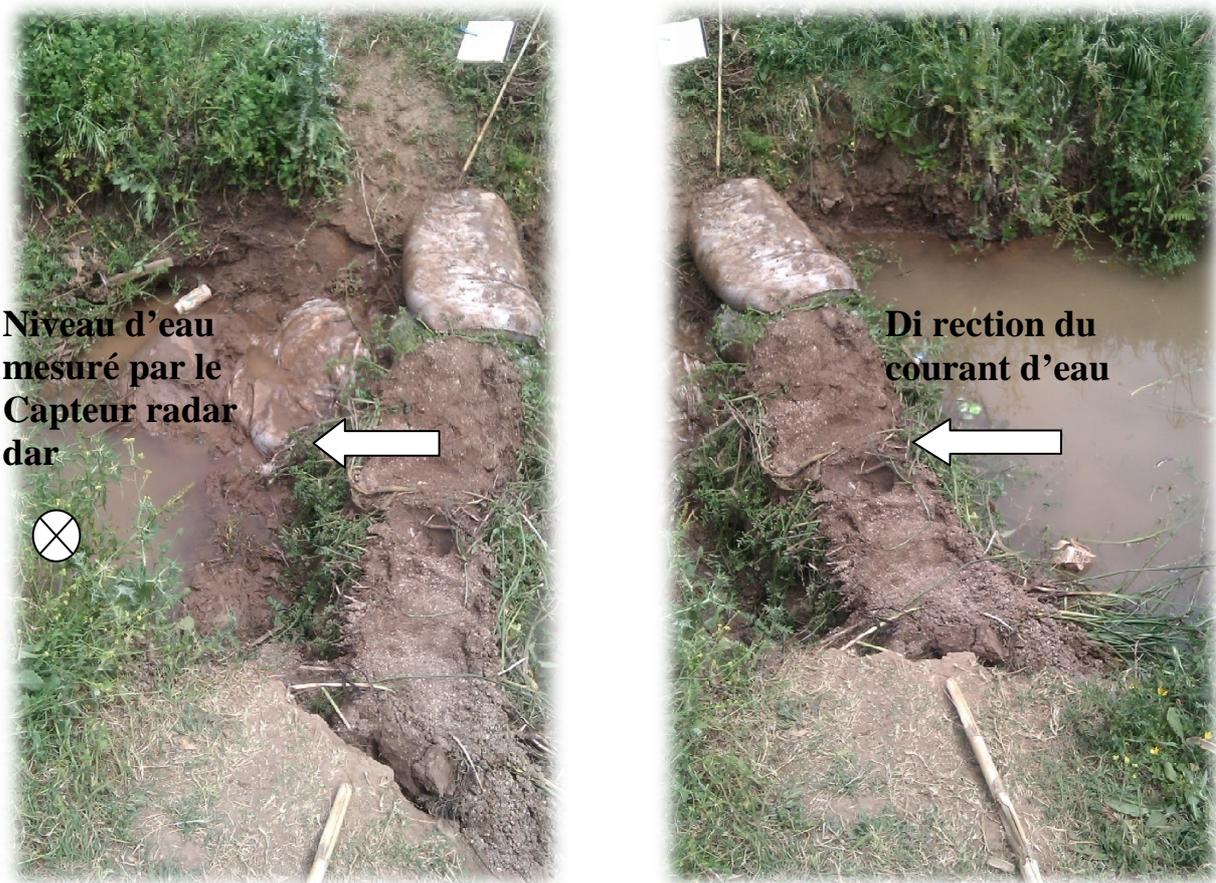


Figure 22 : photos montrant la mise en place d'un pont par les habitants du village oulad bouabid semâa dans la station d'autoroute :

3. Solutions proposées



- Les données transmises par le système de télémesure installé dans chaque station doivent être vérifiées en tête de chaque mois, afin de détecter le problème qui cause l'interruption de la réception de données, ou bien leur enregistrement dans la mémoire du système, et cela peut être d'une cause matérielle, comme il peut être d'une cause logicielle. Ceci peut être réglé en faisant des requêtes pour le Datalogger afin qu'il transmet les données qui ne se sont pas transmises à cause d'un problème dans le réseau GSM.
- Le choix du site d'implantation des stations doit prendre en considération la forme, la pente, et la largeur du cours d'eau, afin d'éviter la modification continue de la profondeur du lit de la rivière. En plus de ça, il faut que l'implantation de la station soit lointaine de toute activité humaine pour assurer la bonne fiabilité des mesures.
- L'étalonnage de la station doit être fait chaque année ou deux, en effectuant des mesures sur la profondeur du lit et sa largeur, afin de modifier la profondeur maximale du lit que prend le système de télémesure comme point de référence, et aussi pour éviter les valeurs négatives dans les données transmises par ce dernier.
- Pour réduire la modification du lit de la rivière par sédimentation ou exhaussement, on pourra faire un aménagement des sections de mesure de la station, cela permettra aussi de mesurer facilement et parfaitement, en plus que l'hauteur d'eau, le débit du cours d'eau pour la construction d'une courbe de tarage, en plus d'une obtention d'une relation hauteur d'eau-débit aussi stable que possible.



Figure 23 : photo d'un canal calibré pour augmenter la précision des mesures

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Le Maroc a bien eu du progrès dans la matière de prévision de crues et les plans pour limiter les dégâts matériels et humains causés par ces derniers. Mais ce progrès reste à améliorer, à discuter. L'Agence du Bassin hydraulique de Sebou était aussi un partenaire dans ce progrès en automatisant les mesures par l'installation du système de télémesure, et en favorisant le stockage des données hydrauliques afin de les utiliser en temps voulu, mais la fiabilité de ces bases de données demeure un défi majeur, vu les erreurs et les problèmes déjà cités dans ce rapport. Ces obstacles limitent fortement la fiabilité et le développement des données (courbes de tarage, cartographie, système SIG) pour avoir des résultats



exacts et pour une véritable prévision contre les crues qui menacent la ville de Fès à chaque période de pluviométrie intense.

Liste des figures

Figure 1 : carte qui montre les Caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques du bassin versant de l'oued Fès.....	5
Figure 2 : schéma qui montre les étapes suivies par le système de télémesure pour disponibiliser les données.....	6
Figure 3 : Photo du serveur et des écrans mises en place dans l'ABHS.	10
Figure 4 : principe d'émission/ réception d'un capteur Radar.....	10
Figure 5 : schéma expliqué montrant la procédure de mesure du niveau d'eau que suit un Radar.....	11
Figure 6 : méthode de mesure des paramètres (Vitesse, Profondeur, Largeur) d'un cours d'eau pour déduire le débit	13
Figure 7 : carte de la répartition des stations dans le bassin de Oued Fès.....	16
Figure 8 : série des photos du matériel de la station de mesure de Ain chegag	20
Figure 9 : Photo d'une vue de l'ensemble du matériel installé sur la rive gauche de oued Chekou dans la station d'ain chegag	20



Figure 10 : Graphique du profil en travers du Lit de oued chekou sur la section où se trouve la station de mesure Radar d'ain chegag.....	22
Figure 11 : série des photos du matériel installé dans la station de mesure d'autoroute	24
Figure 12 : vue de l'ensemble du matériel installé sur la rive gauche d'oued el Mehrez dans la station d'autoroute	24
Figure 13 : Graphique du profil à travers du Lit de oued el Mehrez sur la section ou se trouve la station de mesure Radar.....	25
Figure 14 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued chekou pendant l'année 2013.....	30
Figure 15 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued chekou pendant l'année 2014.....	30
Figure 16 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued el Mehrez pendant l'année 2013.....	35
Figure 17 : Graphique qui montre la variation du niveau d'eau de oued el Mehrez pendant l'année 2014.....	35
Figure 18 : Valeurs manquantes dans les données transmises par la station de Mechouar	37
Figure 19 : valeurs négatives dans les données trasmises par la station d'Ain chegag	37
Figure 20 : Variation des phénomènes selon la vitesse du courant.....	38
Figure 21 : les différents phénomènes au niveau du méandre d'une rivière.....	38
Figure 22 : photos montrant la mise en place d'un pont par les habitants du village oulad bouabid semâa dans la station d'autoroute.....	39
Figure 23 : photo d'un canal calibré pour augmenter la précision des mesures.....	40

Listes des Tableaux

Tableau 1 : spécifications techniques indicatives du capteur du niveau.....	8
Tableau 2 : présentation générale des stations concernées par l'étude.....	15
Tableau 3 : seuils de crues pour les oueds concernés avec le niveau d'alerte de chaque seuil.....	17
Tableau 4 : Seuils d'alerte de crues pour chaque station (Année 2012-2013).....	18
Tableau 5 : matériel de la station de mesure de Ain chegag.....	20
Tableau 6 : matériel installé dans la station de mesure d'autoroute.....	24



BIBLIOGRAPHIE

Rapport de la mission 3 de l'année 2011-2012 : Présentation des seuils et barèmes du réseau d'annonce de crues pour la ville de Fès (pages 4 et 8).

WEBOGRAPHIE

<http://mon.univ-montp2.fr>

<http://mesoscaphe.unil.ch>