Dynamiques environnementales

Journal international de géosciences et de l'environnement

46 | 2020
De Varia

Évolution de la concentration des sédiments en suspension et du débit liquide durant les crues et le phénomène d'Hystérésis dans le sous bassin de l'Oued Djdiouia (Nord-ouest algérien)

Evolution of the concentration of suspended sediments and liquid flow during floods and the hysteresis phenomenon in the wadi Djdiouia sub-basin (North-West Algeria)

Faiza Hallouz, Mohamed Meddi et Salah Eddine Ali Rahmani

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/dynenviron/2872>

DOI : 10.4000/dynenviron.2872

ISSN : 2534-4358

Éditeur

Université d'Orléans

Édition imprimée

Pagination : 66-89

ISBN : 978-2-9576053-0-9

ISSN : 1968-469X

Référence électronique

Faiza Hallouz, Mohamed Meddi et Salah Eddine Ali Rahmani, « Évolution de la concentration des sédiments en suspension et du débit liquide durant les crues et le phénomène d'Hystérésis dans le sous bassin de l'Oued Djdiouia (Nord-ouest algérien) », *Dynamiques environnementales* [En ligne], 46 | 2020, mis en ligne le 01 février 2022, consulté le 20 avril 2023. URL : <http://journals.openedition.org/dynenviron/2872> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dynenviron.2872>

Ce document a été généré automatiquement le 20 avril 2023.

Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International
- CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Évolution de la concentration des sédiments en suspension et du débit liquide durant les crues et le phénomène d'Hystérésis dans le sous bassin de l'Oued Djdiouia (Nord-ouest algérien)

Evolution of the concentration of suspended sediments and liquid flow during floods and the hysteresis phenomenon in the wadi Djdiouia sub-basin (North-West Algeria)

Faiza Hallouz, Mohamed Meddi et Salah Eddine Ali Rahmani

Nous remercions l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) qui a mis à notre disposition les données hydrométriques nécessaires à la réalisation de cette étude.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet Jeunes Équipes de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Associé à l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida (ENSH).

Introduction

- 1 La relation entre la concentration des sédiments en suspension (C) et le débit liquide (Q) d'un cours d'eau est une relation qui permet non seulement de déterminer le transport solide dans l'oued mais également d'étudier l'évolution des concentrations en suspension et des débits liquides pour un événement hydrologique telles que les crues.
- 2 Peu de travaux ont été entrepris et publiés. Wood (1977) et Olive et Rieger (1985) ont montré des modèles qui reflètent ces relations et ont introduit la notion d'hystérésis dans le bassin de la rivière Rother (Angleterre) et cinq sous bassins de la rivière Wallagaraugh (Pays de Galles). Des crues ont été également étudiées dans trois stations

de jaugeage sur la rivière Pejibaye (Costa Rica) par Jansson (2002). L'auteur a apporté une considérable contribution à l'explication du phénomène d'hystérésis.

- 3 Les régions semi-arides méditerranéennes sont caractérisées par une variabilité interannuelle des apports solides beaucoup plus irrégulière que celle des apports liquides. En Algérie, nous disposons des travaux de Benkhaled et Remini (2003a), Bouanani et al. (2004), Achite et al. (2005 et 2007), Touaibia et al. (2001), Ghenim et al. (2007), Bouchelkia et al. (2011) ou encore El Mahi et al. (2012), qui ont montré la variabilité temporelle de C et Q caractéristique de leurs bassins d'études. Ce sont donc des épisodes clés pour comprendre les mécanismes de transfert des matières en suspension (MES) sur un bassin versant.
- 4 Dans le sous bassin versant de l'Oued Djdiouia ainsi que dans de nombreux bassins de la zone semi-aride de l'Algérie du Nord, le transport de sédiments est l'un des problèmes économiques et environnementaux graves dus à l'érosion des sols. Ce bassin appartient à une région très fragile où toutes les conditions se trouvent réunies (Demmak, 1982 ; Roose, 1999), à savoir :
 - Un climat méditerranéen caractérisé par des fluctuations thermiques très variées, des pluies fines très irrégulières et un écoulement torrentiel.
 - Un couvert végétal offrant une grande diversité spatiale, une lithologie jeune où prédominent 75 % d'argiles, de marnes et schistes, formations sensibles à l'érosion, avec une alternance de roches dures comme les calcaires et les grès.
 - Un développement socio-économique caractéristique des pays en voie de développement avec l'impact d'une succession de colonisation, les effets des surpâturages et de l'utilisation agricole.
 - Un régime hydrologique très irrégulier des cours d'eau où l'on observe des signes de dégradation poussée et généralisée tels que la divagation des oueds, le sapement des berges et l'alluvionnement des lits.
- 5 Dans cette étude, nous cherchons à caractériser la relation C/Q à travers une série d'événements de crues. En effet, l'analyse sera volontairement orientée vers l'aspect graphique que donnerait la mise en figure selon l'évolution chronologique de C et de Q. C'est une technique pensée pour permettre une connaissance plus approfondie de cette relation à l'échelle de la crue (Benkhaled et al., 2003b ; Bouanani, 2004). Lorsque la concentration de matières en suspension a des valeurs différentes pour un même débit à différents stades de la crue, un effet d'hystérésis¹ est observé.
- 6 Les boucles d'hystérésis de la relation C-Q identifiées dans la bibliographie sont représentées ci-dessous (Tableau 1), sous forme de modèle selon leurs descriptions, leurs schémas ainsi que le critère C/Q utilisé.

Tableau 1. Classes des relations C-Q/ d'après Williams (1989)

Classe	Forme de boucle	Rapport C/Q	Descriptions	Schéma de boucle

		<p>C/Q de la montée égale à celui de la décrue (Wood, 1977)</p> <p>C/Q de la montée supérieure à celui de la descente, pour toute valeur de Q (Paustian et Beschta, 1979)</p> <p>C/Q de la montée inférieure à celui de la descente pour toute valeur de Q (Axelsson, 1967)</p> <p>a-C/Q de la montée égale à celui de la descente pour une partie des valeurs de Q</p> <p>b- C/Q de montée supérieur ou inférieur à celui de la descente pour une autre</p>	<p>-Matériaux désolidarisés des berges et déjà érodés (Lenzi et Lorenzo, 2000)</p> <p>-Après des crues où les particules fines sont parties (Hudson, 2003)</p> <p>-Arrivée contenue de matériaux selon débit et granulométrie (Hudson, 2003)</p> <p>-Remise en suspension puis érosion et dilution (Jansson, 2002 ; Picouet et al, 2000)</p> <p>-Epuisement du stock de sédiment (Lenzi et Lorenzo, 2000 ; Jansson, 2002))</p> <p>-Particules des zones proches du corridor (Williams, 1989, Seeger et al, 2004)</p> <p>-Sources lointaines (Orwin et Smart, 2004)</p>	
I	Ligne Simple			
II	Clockwise loop			
III	Counterclockwise loop			
IV	Linéaire simple			
V	plus une boucle			
	Forme de huit			
Dynamiques environnementales		<p>partie de valeur de Q</p> <p>a- rapport C/Q de</p>	<p>-Après un grand évènement pluvieux qui a tout enlevé (Hudson</p>	

Matériel et méthodes

Zone d'étude

- 7 Le sous bassin versant de l'oued Djdiouia est situé dans la partie nord du grand bassin du Cheliff (Bas Cheliff) (Fig. 1) et s'étend sur 835 km². L'oued Djdiouia, d'une longueur de 96 km, est un affluent de l'oued Cheliff. Ce bassin est contrôlé par cinq postes pluviométriques et une seule station hydrométrique. A travers ce sous bassin coule plusieurs oueds dont le plus important est l'oued El Malah (ANRH, 2010). Le sous bassin versant de l'oued Djdiouia est limité au nord par l'oued Chélif-Tarhia, au sud par le sous bassin versant de l'oued Tiguiguest, à l'est par le sous bassin versant de l'oued Rhiou et à l'ouest par le sous bassin versant de l'oued Mina.

Figure 1. Carte situation du sous bassin de l'oued Djdiouia

- 8 Il s'étend entre 0° 47' 39" et 0° 56' 41" de longitude Est et entre 35° 55' 54" et 35° 50' 32" de latitude Nord. La température moyenne annuelle y est d'environ 18°C, avec un maximum mensuel de plus de 28,6°C enregistré au mois de juillet et un minimum mensuel de 9,6°C enregistré au mois de janvier.
- 9 Le sous bassin versant de l'oued Djdiouia est influencé par le climat méditerranéen avec une moyenne pluviométrique interannuelle de 320 mm. Les vents sont des vents locaux dans le Cheliff avec des vents d'Ouest à Relizane et Oued Rhiou. Le sirocco se fait sentir assez souvent (ANRH, 2010).
- 10 Une grande partie de la superficie de la vallée est occupée par des cultures en sec, les arbres fruitiers n'occupant qu'une très faible superficie. Ce couvert végétal influe sur

l'évapotranspiration, retarde le ruissellement et aide à la conservation de la surface du sol contre l'érosion.

- 11 La topographie est très variée, le relief est très accentué avec la présence de grandes pentes favorisant la vitesse de ruissellement au détriment de l'infiltration.
- 12 La classification de l'utilisation du sol et de la couverture végétale figure sur des cartographies (El Garouani et al., 2008 ; Andrieu et Méring, 2008 ; Diédhiou et al., 2020). Elles sont sujettes à des transformations ou changements par l'augmentation de la coupe ou du brûlage des superficies forestières.
- 13 Nous devons souligner qu'il s'agit d'une zone de climat méditerranéen, avec une végétation adaptée dans beaucoup de cas à supporter des incendies, ou possédant une bonne capacité de régénération. Cette régénération est particulièrement rapide dans les zones à pluviométrie élevée ; elle est beaucoup plus lente dans les zones à faible pluviométrie.
- 14 Ces zones soumises au brûlage ou aux coupes forestières sont à nouveau recouvertes de taillis, dans un délai de 7 à 8 ans, bien que pour leur régénération complète, elles nécessitent 30 ou 40 ans dans les zones méditerranéennes humides.
- 15 A signaler qu'une construction d'une retenue de 100 millions de mètre cube a été lancée en 2013 dans la région de Djdiouia, cet ouvrage permettra l'irrigation de 7000 ha de terres agricoles de la vallée du bas Cheliff (Algérie360.com).

Données utilisées

- 16 La mesure des transports solides en suspension est basée sur une méthode opérationnelle qui consiste en l'application des instructions et consignes données en ce sens. La méthode d'échantillonnage systématique du transport solide sur la plupart des cours d'eau algériens est l'échantillonnage uni ponctuel. La technique utilisée est la suivante :
 1. On prélève des échantillons à l'aide de bouteilles de 0,5 à 1 litre de capacité. Ces bouteilles sont testées pour permettre une entrée rapide dans la section mouillée et présentent un goulot de diamètre très large afin de diminuer le temps de remplissage et d'éviter autant que possible les variations de la concentration dues aux remplissages saccadés.
 2. Le lieu de prélèvement sera pris dans le centre de la section, si le cours d'eau est franchissable ou en bordure, mais en tout cas pas dans une zone calme.
- 17 Dans cette étude, 19 crues de la station de Rahouia contenant des mesures de concentration en suspension sont analysées. Ces données proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les caractéristiques de la station sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Stations hydrométriques du sous bassin versant de l'Oued Djdiouia (Bas Cheliff)

S/Bassin	Nom station	Code station	Surface (km ²)	X (m)	Y (m)	Altitude (m)	Période
Oued Djdiouia	Rahouia	012701	835	349850	251150	655	1974-2000

Méthodes de quantification

Caractérisation de la relation concentration en sédiments en suspension-débit liquide

- 18 Les problèmes posés par la mesure du transport en suspension incitent les hydrologues à s'intéresser à l'étude des variations de C et Q au cours d'une crue. En effet, la nature complexe du phénomène de crue, la conception de nouveaux échantillonneurs et de nouvelles techniques de mesure, ainsi que les difficultés rencontrées lors des mesures par les observateurs, sont les éléments clés de cet intérêt. Dans les petits cours d'eau, les concentrations des sédiments en suspension sont directement liées au débit. Les concentrations des sédiments en suspension augmentent généralement très rapidement pendant les montées des crues, produisent une pointe avant le débit maximal puis diminuent plus lentement pendant la décrue donc le débit liquide et la concentration instantanée des sédiments en suspension peuvent ne pas avoir une relation stationnaire pendant un écoulement simple dû à une averse. La tendance pour que la concentration en sédiment ait différentes valeurs à des débits identiques est l'effet d'hystérésis (Hallouz, 2013).
- 19 L'examen des données instantanées des débits et des concentrations mesurées au niveau de la station Rahouia durant les périodes considérées nous ont permis de sélectionner les crues figurant dans le tableau 3.

Tableau 3. Chronologie des crues sélectionnées sous bassin versant de l'Oued Djdiouia (Bas Cheliff) (Station Rahouia)

Station	N°	Crues	Nombre d'observations (Q et C) durant la crue	Q _{max} (M ³ .s ⁻¹)	C _{max} (g.l ⁻¹)	Durée de la crue (heures)
Rahouia	1	19-25 Mars 1975	13	133	78.82	124
	2	21-24 Avr. 1975	10	20.50	88.86	80.5
	3	28-30 Sept. 1976	22	454.50	329.96	42.7
	4	24-27 Janv. 1977	12	96.55	83.79	76.5
	5	16-18 Oct. 1978	38	253.20	305.40	29
	6	01-07 Mars 1979	32	207.50	100.30	176
	7	19-23 Déc. 1980	13	91.55	108.66	96

8	22-23 1981	Déc.	14	124.00	229.80	96
9	18-21 1982	Déc.	16	366.40	146.11	96
10	08-11 1986	Fév.	11	88.96	50.24	72
11	13-14 1986	Oct.	23	504.42	218.46	15
12	29-30 1987	Sept.	23	154.80	276.94	10
13	03-04 1990	Mai	39	248.00	180.00	32
14	24-25 1993	Avril	23	97.00	239.00	22.5
15	19-20 1993	Oct.	31	404.63	317.00	30
16	16-18 1994	Oct.	54	289.00	174.00	64
17	04-05 1995	Mars	38	77.06	134.00	37
18	21-23 1997	Avril	37	210.78	111.00	60
19	24-25 2000	Oct.	37	79.52	138.00	45

- 20 Ces 19 évènements analysés représentent des épisodes ayant différentes caractéristiques (tableau 3). Cette sélection n'est pas exhaustive, mais elle permet de fournir le maximum d'informations sur la relation C-Q, en identifiant le modèle d'hystérésis dominant, en insistant en particulier sur l'effet saisonnier.
- 21 Leopold et *al.* (1964) ont analysé les enregistrements de concentration des sédiments en suspension-débit liquide dans plusieurs bassins des États-Unis et ont constaté qu'une grande partie de la charge annuelle de sédiments est produite durant les crues modérées fréquentes.
- 22 La démarche pour l'obtention des relations C-Q est purement graphique. Elle se présente en trois étapes :
1. les données de débit et de concentration sont mises en graphe avec en ordonnée la concentration en g.l^{-1} et le débit en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, et en abscisse le temps comme variable indépendante. On obtient les graphes temporels de C et de Q. Pour la représentation

graphique de l'hystérésis, la concentration C en g.l^{-1} est prise en abscisse et le débit Q en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ en ordonnée.

2. Un graphique chronologique est établi.
3. Les associations C - Q réalisées sont retenues et analysées.

Résultats et discussion

Identification des classes de la relation C - Q

- 23 L'identification des différentes classes de relations C - Q est élaborée sur la base des résultats graphiques et statistiques des deux variables mises en relation. La figure 2 représente les graphes temporels et l'hystérésis des événements sélectionnés pour le sous bassin de l'oued Djidiouia.

Figure 2A - Évolution des concentrations des sédiments transportés en suspension et des débits liquides pendant les crues au sous bassin de l'oued Djidiouia (crues 1, 2 et 4). 5 et 6 : classe II).

Figure 2B - Évolution des concentrations des sédiments transportés en suspension et des débits liquides pendant les crues au sous bassin de l'oued Djidiouia; (crues 8, 9, 10, 14, 15 et 18: classe III).

Figure 2C - Évolution des concentrations des sédiments transportés en suspension et des débits liquides pendant les crues au sous bassin de l'oued Djidiouia (crues 3, 7, 11, 12, 13, 16, 17 et 19 : classe V).

- 24 A partir de la figure 2, on peut aussi voir le sens des boucles des différentes classes. En effet, six crues (1, 2, 3, 4, 5 et 12) présentent des boucles normales qui expliquent que l'écoulement est non perturbé par contre les treize restantes (6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 et 19) présentent des boucles inverses.
- 25 Pour les boucles normales, l'apparition du pic des concentrations vient avant celui des débits liquides, c'est-à-dire que la source des sédiments fournit des quantités stables. Par conséquent, dans les boucles inverses, le pic des concentrations est atteint avant celui des débits liquides, ce qui correspond à une arrivée tardive des particules (Williams, 1989), c'est peut-être dû essentiellement à l'existence d'une couche de pavage, formée sur le lit de l'oued antérieurement à la crue. Les particules lâchées du sol au début d'une averse sont érodées par le premier ruissellement direct en quantité appréciable. Cette situation peut aussi avoir lieu dans le cas d'un épuisement ou d'une diminution du stock de sédiment disponible avant le maximum du débit liquide. L'homme joue également un rôle non négligeable dans le processus de genèse des sédiments en suspension par les pratiques culturales.
- 26 Le tableau 4 présente les grandeurs statistiques des crues retenues dans cette analyse. Ces paramètres fournissent des informations très importantes pour l'identification des classes d'hystérésis. Les paramètres « aplatissement » et « asymétrie » ont été considérés comme outils d'analyse statistique, bien que le nombre des couples de valeurs des variables C et Q soit relativement petit. Les problèmes de fréquence d'échantillonnage se répercutent sur la signification de l'utilisation de ces deux paramètres dans ce cas.
- 27 Néanmoins, les valeurs du coefficient de variation Cv donnent une idée de l'intensité des fluctuations des concentrations et de débits. Ce paramètre indique aussi l'orientation des boucles : un coefficient de variation faible indique ainsi par exemple une orientation presque horizontale (Benkhalel et Remini, 2003b ; crue n°11, tableau 4). L'asymétrie n'affecte ni la forme de la boucle ni son orientation.

Tableau 4. Paramètres statistiques de Q et de C des crues sélectionnées dans le sous bassin versant de l'Oued Djidiouia (Bas Cheliff)

Station	Crues	Variables	Moyenne	Écart Type	Médiane	Cv	Asymétrie	Aplatis.	Max
Rahouia	19-25 mars 1975	Q	31.72	42.88	9.35	1.35	1.14	1.31	133
		C	33.06	30.84	16.54	0.9	0.13	1.42	78.82
	21-24 Avr. 1975	Q	11.4	7.65	11.51	0.67	0.27	1.2	20.5
		C	42.78	37.37	43.63	0.87	0.16	1.46	88.86
	24-27 Janv. 1977	Q	29.16	30.05	18.82	1.03	0.93	2.89	96.55
		C	45.81	35.56	46.75	0.77	-0.017	1.75	83.79
	16-18 Oct. 1978	Q	91.28	79.59	68.25	0.87	1.48	3.2	253.2
		C	156.85	79.85	128.02	0.51	1.11	5.77	305.04

01-07 mars 1979	Q	65.52	62.61	35.84	0.96	2.17	6.26	207.5
	C	53.57	31.76	53.39	0.59	0.36	1.67	100.3
22-23 Déc. 1981	Q	28.60	35.98	15.90	1.26	1.3	2.75	124
	C	89.29	74.47	82.73	0.83	1.25	2.48	229.8
18-21 Déc. 1982	Q	120.52	122.18	82.57	1.01	1.25	1.87	366.4
	C	77.04	54.64	83.59	0.71	1.23	2.19	146.11
08-11 Fév. 1986	Q	31.93	29.73	18.84	0.93	0.53	1.53	88.96
	C	24.07	19.31	9.30	0.80	0.35	1.24	50.24
24-25 avril 1993	Q	11.47	21.06	4.07	1.84	1.10	1.90	97.00
	C	96.96	50.33	100.00	0.52	-1.02	2.30	239.00
19-20 Oct. 1993	Q	94.61	130.30	25.88	1.38	2.04	4.06	404.63
	C	226.84	85.17	237.00	0.38	1.48	3.36	317.00
21-23 avril 1997	Q	45.31	61.70	9.66	1.36	1.65	3.96	210.78
	C	53.36	33.96	36.00	0.64	1.04	2.17	111.00
28-30 Sept. 1976	Q	198.41	154.93	185.5	0.78	0.088	2.03	454.5
	C	249.74	80.05	268.04	0.32	0.45	1.82	329.96
19-23 Déc. 1980	Q	23.26	27.17	17.70	1.17	0.96	2.48	91.55
	C	53.99	35.67	50.62	0.66	0.99	1.7	108.66
13-14 Oct. 1986	Q	121.63	169.93	32.68	1.40	1.57	2.83	504.42
	C	178.44	44.44	186.00	0.25	0.95	1.86	218.46
29-30 Sept. 1987	Q	31.43	46.06	11.98	1.47	0.63	1.34	154.80
	C	121.17	51.68	102.00	0.43	0.55	1.64	276.94
03-04 mai 1990	Q	59.54	64.52	30.03	1.08	0.80	2.68	248.00
	C	110.88	50.82	118.00	0.46	0.76	1.83	180.00
16-18 Oct. 1994	Q	53.15	77.91	20.60	1.47	0.89	2.18	289.00
	C	87.19	59.04	76.50	0.68	-0.35	2.05	174.00
04-05 mars 1995	Q	15.19	22.34	6.27	1.47	0.42	1.10	77.06

		C	58.86	50.60	35.00	0.86	-0.13	1.46	134.00
	24-25 Oct. 2000	Q	18.01	21.72	9.52	1.21	1.69	4.23	79.52
		C	87.92	38.76	82.00	0.44	0.08	1.58	138.00

- 28 En visualisant les valeurs des concentrations des sédiments en suspension, et particulièrement les plus fortes (tableau 5), on constate que le rapport des concentrations maximales aux concentrations minimales durant la montée de la crue ainsi qu'en décrue est très significatif. Les crues 1, 2, 4, 5 et 6 de la classe II (tableau 1) ont des rapports de variations durant la décrue plus élevés. Par contre, les crues de la classe III (crues 8, 9, 10, 14, 15 et 18) présentent des rapports importants lors de la montée. Les rapports C_{max}/C_{min} de la classe V (forme en huit) sont généralement plus élevés lors de la montée (crues 3, 7, 11, 12, 13, 16, 17 et 19) (tableau 5).

Tableau 5. Rapport de variation de la concentration et classement des crues

Stations	N°	Crues	C_{max}/C_{min} lors de la montée	C_{max}/C_{min} lors de la décrue	Classe
Rahouia	1	19-25 mars 1975	7.74	32.21	II
	2	21-24 Avr. 1975	26.73	85.44	II
	4	24-27 Janv.1977	5.86	33.8	II
	5	16-18 Oct. 1978	3.47	3.62	II
	6	01-07mars 1979	9.23	17.15	II
	8	22-23 Déc. 1981	22.82	4.85	III
	9	18-21 Déc. 1982	5.85	5.53	III
	10	08-11 Fév. 1986	9.18	8.63	III
	14	24-25 avril 1993	6.46	1.96	III
	15	19-20 Oct. 1993	21.13	1.92	III
	18	21-23 avril 1997	22.2	5.76	III
	3	28-30 Sept.1976	2.11	4.4	V
	7	19-23 Déc. 1980	27.47	1.4	V
	11	13-14 Oct. 1986	8.4	3.36	V
	12	29-30 Sept.1987	26.33	19.75	V
	13	03-04 mai 1990	5.23	10	V

16	16-18 Oct. 1994	43.5	18.33	V
17	04-05mars 1995	19.14	11.48	V
19	24-25 Oct. 2000	17.25	3.74	V

Interprétation de l'hystérésis observées à l'échelle du bassin versant

Classe II

- 29 Le modèle « clockwise loop » se présente essentiellement en hiver et au printemps.
- 30 Le Tableau 4 montre que pour le sous bassin de l'oued Djdiouia 26 % environ des crues ont manifesté une forme de classe II, soit un maximum de charge solide atteint bien avant celui du débit. Ce décalage est lié à un épuisement du stock de sédiments disponible avant le maximum du débit (Walling, 1984 ; Wood, 1977). La forme II résulte aussi d'une activité érosive de remobilisation de particules fines (Kattan *et al.*, 1987) ou d'une remise en suspension (Amborg *et al.*, 1967), comme par exemple la crue n°1 ou la crue n°2.
- 31 Cependant, en se référant aux crues analysées dans cette étude, nous remarquons que les crues pour lesquelles des mesures de la concentration ont été réalisées sont plus fréquentes en hiver et au printemps dans la station Rahouia.
- 32 La disponibilité des sédiments après une saison sèche où le sol est particulièrement fragilisé et facilement érodable, associée à des pluies pouvant être violentes et capables d'entraîner d'importantes quantités de matières fines, favorise l'apparition du pic des concentrations avant le pic des débits. En outre, l'irrégularité des pluies pendant les mois pluvieux empêche la saturation complète du sol et l'apparition par endroit de l'écoulement hypodermique. Cette situation contribue à l'apparition d'une dynamique érosive sur les versants et l'existence d'une courbe de pavage mobilisable formée sur le lit de l'oued antérieurement à la crue (Khanchoul, 2007).
- 33 Suivant que les boucles possèdent un axe à orientation horizontale telle que les crues n°1 et n°6 ou un axe à orientation verticale (le reste des crues), le caractère cyclique de la relation C-Q peut être illustré en trois phases dans la boucle (ex. crue n°6 de la figure 2).
- 34 La première phase est caractérisée par une forte augmentation de sédiments en suspension et du débit (Benkhaled et Remini, 2003b). Cette phase reflète l'arrivée successive des premières charges fines de sédiments issus de l'effet « splash » des pluies torrentielles dans les zones de ruissellement proches de l'exutoire du bassin. Elle peut correspondre également à la remobilisation des matériaux déposés sur le fond lors des basses eaux (Kattan *et al.*, 1987). La seconde phase se distingue par une diminution de la concentration en suspension et une forte augmentation du débit. Cette phase de transport correspond à la dilution de la concentration des sédiments et peut être également attribuée à l'érosion des berges du cours d'eau (Kattan *et al.*, 1987). La troisième phase est caractérisée par une diminution de la concentration en suspension et du débit. Elle correspond particulièrement au dépôt des sédiments sur le lit de l'oued et dans les zones alluviales (Benkhaled et Remini, 2003b).

Classe III

- 35 La forme III résulte du fait que le sol étant moins saturé et plus couvert, il résiste mieux à la pluie. L'érosion et le transport solide se verront légèrement retardés par rapport aux écoulements (Bouguerra et Bouanani, 2019).
- 36 Le modèle « counterclockwise loop » devient plus fréquent dans le sous bassin étudié (32 %) (tableau 4). Les crues de ce modèle surviennent essentiellement en hiver et au printemps, sauf pour notre étude, qui montre des crues opérant aussi en automne. Par ailleurs, durant l'hiver et le printemps, les écoulements deviennent importants et les précipitations par leur abondance arrivent à mobiliser de grandes quantités de sédiments. Les sources sont multiples et l'on assiste à une alternance d'entraînement des particules sédimentaires depuis les versants mais surtout du lit et des berges de l'oued (pour la forme II) (Smith et Dragovitch, 2009 ; Bouguerra et Bouanani, 2019).
- 37 Contrairement au modèle de la classe II où la plupart de la charge des sédiments est sujette à un transport sans un dépôt net dans le cours d'eau, le modèle de la classe III, défini par un débit de pointe se plaçant avant la concentration maximale, reflète un dépôt net des sédiments dans le cours d'eau (Jansson, 2002). La boucle « counterclockwise loop » peut se former aussi quand C et Q ont des montées simultanées pour atteindre le même maximum. C'est le cas de la crue n°15 (Fig. 2). En effet les zones semi-arides sont caractérisées par une érosivité des pluies et spécifiquement à l'automne (Hallouz et al., 2018) qui succède à une longue période de préparation de matériaux allant de juin à septembre, et qui peut même aller au-delà pour atteindre l'hiver, comme c'est le cas de notre série d'observations. En automne, on assiste à une multiplication des activités de labours sur les versants et tout près des rives de l'oued, favorisant ainsi la production de matériaux en suspension provoqués par l'effet *splash* des pluies érosives et des eaux de ruissellement.
- 38 D'une manière générale, les crues de cette classe sont caractérisées par un temps de montée supérieur au temps de concentration des bassins et une concentration en suspension qui peut atteindre des valeurs assez élevées (environ 100 g.l⁻¹). Cela peut être indicatif quant à l'érodibilité du sol, plus au moins saturé et moins couvert.
- 39 Ce modèle représenté par les crues 15 et 18, peut être le résultat de deux possibilités :
- un transport lointain du sédiment qui n'arrive à l'exutoire qu'au moment de la décrue (Jansson, 2002) ;
 - une érosion des berges qui se développe pendant les pluies tardives souvent moins intenses dans la région. Cette hypothèse d'une érosion non loin de la station hydrométrique ne peut être confirmée par manque d'évidence sur le terrain.

Classe V.

- 40 Cette forme en huit comporte des crues qui surviennent principalement en hiver et au printemps avec une certaine proportionnalité, en relation avec ces deux saisons, en automne pour les crues numéro 3, 7, 11, 12, 13, 16, 17 et 19. Pour ces crues, les montées de Q et de C commencent en même temps.
- 41 Le taux de montée de la concentration est plus grand que le débit dans la crue n°3 et la concentration maximale arrive avant le débit de pointe (fig. 2). Ceci donne une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre, nommée « clockwise loop ». La disponibilité des sédiments après le pic et le transport sont assez élevés, d'où une diminution moins

rapide de la concentration avec le temps. A des débits faibles, les rapports C/Q sont plus grands en décrue qu'en montée de crue. Ceci signifie que les valeurs de C en décrue sont plus élevées que celles pendant la montée de crue. C'est donc la boucle « counterclockwise loop » qui se produit.

- 42 Les autres crues présentent une augmentation moins brusque et une montée plus au moins simultanée des deux graphes jusqu'au maximum, après une certaine valeur de C . La décrue apporte encore une quantité assez importante de sédiments, le sol paraît encore érodable ou disposé à alimenter les cours d'eau de matériaux fins (Hallouz, 2013).

Sources de l'hystérésis

- 43 La concentration des sédiments en suspension mesurée en une section transversale résulte de la mobilisation, de la rétention, de la réduction et de l'épuisement des sédiments dans le bassin d'étude.
- 44 L'origine des sédiments dans le réseau d'écoulement sont le lit, les berges et les affluents (particulièrement pour le sous bassin de l'oued Djdiouia, où le ruissellement qui provient des pentes dénudées entraîne la création de ravines), les pointes de crues très fortes, le sapement des berges et l'alluvionnement du lit. L'érosion en nappes des versants n'apporte qu'une faible part au transport solide des oueds (Demmak, 1982). Les sources majeures des sédiments directement mobilisés par les oueds lors des fortes crues se trouvent au niveau des ravinements et des éboulements en masse des versants entaillés par la divagation des oueds. Il est communément admis que les sources de sédiments dans les cours d'eau sont l'érosion des sols dans le bassin versant et l'érosion des berges des lits (Colby, 1956). Etant donné le manque de données d'échantillonnage et son mode de prélèvements toujours limité et incomplet, les sources de sédiments pendant les crues et leur disponibilité avant d'arriver à la station de jaugeage sont influencés par beaucoup d'autres paramètres tels que l'état hydrique du sol et la cohésion des particules qui diffère d'une saison à une autre ainsi que l'amplitude du débit et de la concentration aussi bien en montée de la crue qu'à la décrue (Megnounif, 2007 ; Bouguerra et al., 2016).

Conclusion

- 45 L'analyse de l'évolution des concentrations en suspension en fonction des débits liquide durant les crues du sous bassin versant de l'oued Djdiouia a mis en évidence trois modèles de courbe (classe II, III et V). Les modèles des classes III et V sont les plus fréquents, traduisant ainsi une forte disponibilité des sédiments après une saison sèche, où le sol est particulièrement fragilisé, et l'apparition d'un débit de pointe se plaçant avant la concentration maximale, qui reflète un dépôt net des sédiments dans le cours d'eau. Nous ne pouvons pas négliger le modèle de la classe II qui s'impose également. Il reflète un approvisionnement en sédiments même pendant la décrue.
- 46 Ces études, bien que sur du long terme, montrent la nécessité d'acquérir des données supplémentaires, continues et précises, pour permettre une meilleure compréhension des cycles d'apport de MES et pouvoir modéliser finement les relations concentrations en $MES = f(Q)$.

- 47 Les transports en suspension de l’oued Djidiouia présentent des variations spatio-temporelles considérables. Elles seraient dues au régime pluviométrique, au couvert végétal et à la lithologie. En général, les variations saisonnières des apports solides suivent celles des apports liquides. Les valeurs maximales des apports solides, pour l’ensemble des sous bassins, sont observées en début d’automne et à la fin du printemps, cette variabilité s’explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l’année et à la nature agressive des pluies d’automne (fortes intensités). Ces deux facteurs permettent aux premières crues d’automne de transporter des quantités importantes de sédiments (plus de 80%) après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol.
- 48 Enfin, les phénomènes érosifs conditionnés par les crues, notamment leurs impacts sur les barrages, peuvent être considérables. Une bonne gestion de ces réservoirs au cours des crues et une mise en place de dispositifs pour empêcher ces sédiments de s’accumuler s’avère indispensable pour limiter l’alluvionnement très rapide.

BIBLIOGRAPHIE

- Achite M. et Meddi M. (2005) « Variabilité spatiotemporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l’Oued Mina (nord-ouest algérien) », *Rev. Sci. Eau*, 18, p. 37-56.
- Achite M. and Ouillon S. (2007) “Suspended sediment transport in a semi arid water-shed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995)”. *J. Hydrol*, 343, p. 187-202.
- Algerie360.com. (2012) *La réalisation de barrage de Djidiouia (Relizane) reportée à début 2013*. Par Nawel D, vendredi 22 mai 2012 à 13:44. <https://www.algerie360.com/la-realisation-du-barrage-de-djidiouia-relizane-reportee-a-debut-2013/>.
- Andrieu J. et Mering C. (2008) « Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine: exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum au Rio Geba », *Teledetection*, Editions des Archives Contemporaines / Editions scientifiques GB / Gordon and Breach Scientific Publishers, 8 (2), p. 93-118. halshs-00388170.
- A.N.R.H (2010) *Les changements climatiques et leur impact sur les ressources en eau en Algérie*. Assises Nationales sur l’Eau, Alger, ANRH, 41 p.
- Arnborg L., Walker H.J., Peippo J. (1967) “Suspended load in the Colville River, Alaska”. *Geogr. Ann.*, 49A, p. 131-144.
- Asselman N.E.M et Middelkoop H. (1998) “Temporal variability of contemporary floodplain sedimentation in the Rhine-Meuse delta, The Netherlands”. *Earth Surf. Process. Land.*, 23, p. 595-609.
- Axelsson V. (1967) “The Laitaure Delta. A study of deltaic morphology and processes”, *Geogr. Ann.*, 49A, p. 1-127.
- Benkhaled A. et Remini B. (2003a) “Analysis of a sediment rating curve in Wahrane river basin (Algeria)”. *Revue des Sciences de l’Eau*, N° 16/3, p. 333-356. .

- Benkhalel A. et Remini B. (2003b) "Temporal variability of sediment concentration and hysteresis phenomena in the Wadi Wahrane basin. Algeria". *Hydrological Sciences Journal*, N° 48(2), p. 243-255.
- Bouanani A., Mania J., Bensalah M., Baba Hamed K. (2004) « Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies : cas de trois sous- bassins sud méditerranéens (oueds Sebdou, Mouilah et Isser - Tafna - NW Algérie) », *Revue Science de l'eau*, 18, p. 215-224.
- Bouanani A., Baba-Hamed K., Fandi W. (2013) « Production et transport des sédiments en suspension dans l'oued Sikkak (Tafna – nord-ouest Algérie) », *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 26(2), p. 119-132. <https://doi.org/10.7202/1016063ar>.
- Bouchelkia M., Belarbi F., Remini B. (2011) « Quantification du transport solide en suspension par analyse statistique : Cas du bassin versant de Mouilah », *Revue Scientifique et Technique*, LJTE n°19.
- Bouguerra S.A., Bouanani A., Baba-Hamed K. (2016) « Transport solide dans un cours d'eau en climat semi-aride : cas du bassin versant de l'Oued Boumessaoud (nord-ouest de l'Algérie) », *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 29(3), p. 179-195. <https://doi.org/10.7202/1038923ar>.
- Bouguerra S.A. et Bouanani A. (2019) « Analyse saisonnière et interannuelle de la dynamique des flux en suspension dans le bassin versant de l'oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], vol.25 - n°2 | 2019, mis en ligne le 06 septembre 2019, consulté le 10 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/geomorphologie/13189> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.13189>.
- Colby B.R. (1956) *The relationship of sediment discharge to streamflow*. U. S. Geological Survey Open File Report.
- Diédhiou I., Mering C., Sy O., Sané T. (2020) « Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses changements. Application à l'analyse de la dynamique des paysages forestiers sénégalais entre 1972 et 2016 », *Echo-Géo*, 54. <https://doi.org/10.4000/echogeo.20510>.
- Demmak A. (1982) *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale*. Thèse de docteur-ingénieur, Paris, 323 p.
- Elahcene O., Terfous A., Remini B., Ghenaïm A., Poulet J.B. (2013) « Etude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie) », *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques*, 58 (1). <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.742530>.
- El Garouani A., Chen H., Lewis L., Tribak A., Abharour M. (2008) « Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du sig idrisi au nord-est du Maroc », *Teledetection*, Editions des Archives Contemporaines / Editions scientifiques GB / Gordon and Breach Scientific Publishers, 2008, 8 (3), p. 193-201. hal-00434258.
- El Mahi A., Meddi M., Bravard J.P. (2012) « Analyse du transport solide en suspension dans le bassin-versant de l'Oued El Hammam (Algérie du Nord) », *Journal des Sciences Hydrologiques*, 57, p. 1642-1661. DOI : 10.1080/02626667.2012.717700
- Ghenim A.N., Terfous A., Seddini A. (2007) « Etude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin-versant de l'Oued Sebdou (nord-ouest algérien) », *Sécheresse*, 18, p. 39-44. DOI : 10.1684/sec.2007.0067
- Hallouz/Belhadj Bouchaib F. (2009) *Étude des crues dans le bassin de l'Oued Cheliff*. Mémoire de magister, université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, 110 p.

- Hallouz F. (2013) *Transport solide dans le bassin d'El oued Mina et sédimentation du barrage S.M.B.A.* Thèse Doctorat Es Science, École Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida.
- Hudson P.F. (2003) "Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico", *Catena*, 52, p. 57-76. DOI : 10.1016/S0341-8162(02)00145-5.
- Jansson M.B. (2002) "Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica", *Catena*, 47, p. 63-84.
- Kattan Z., Gac J.Y., Probst J.L. (1987) "Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin", *J. Hydrol*, 92, p. 59-76.
- Khanchoul K. (2007) *Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants du Nord-Est algérien*. Unpublished Ph.D. thesis, Department of Geology, University of Annaba, Algeria.
- Klein M. (1984) "Anti-clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms: Holbeck catchment; Yorkshire, England", *Catena*, 11 (2-3), p. 251-257.
- Le François J., Grimaldi C., Gascuel C.O., Doux C., Gilliet N. (2007) "Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main source on small agricultural catchments", *Hydrol. Process.*, 21, p. 2923-2933.
- Lenzi M. et Lorenzo M. (2000) "Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (Northeastern Italy)", *Catena*, 39 (4), p. 267-282.
- Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P. (1964) "Fluvial Processes" in *Geomorphology*, 64. San Francisco, USA, Freeman and Co.
- Megnounif A. (2007) *Étude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface*. Thèse de doctorat, Univ. Abou-Bekr Belkaid, Algérie, 184 p.
- Megnounif A., Terfous A., Ouillon S. (2013) "A graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdou, NW Algeria (1973-2004)", *J. Hydrol.*, 497, p. 24-36.
- Olive L.J. and Rieger W.A. (1985) "Variation in suspended sediment concentration during storms in five small catchments in Southeast New South Walls", *Australian geographical studies*, 23, p. 38-51.
- Orwin J.F. and Smart C.C. (2004) "Short-term spatial and temporal patterns of suspended sediment transfer in pro-glacial channels, Small River Glacier, Canada", *Hydrological Processes*, 18, p. 1521- 1542.
- Paustian S.J and Beschta R.L. (1979) "The suspended sediment regime of an oregon coast range stream", *Water Ressources Bulletin*, v. 15, N° 1, p. 144-154.
- Picouet C., Hingray B., Olivry J.C. (2000) « Modélisation conceptuelle globale du régime du transport particulaire sur les fleuves tropicaux d'Afrique : application aux bassins du Niger supérieur et du Bani, Mali », *Rev. Sci. Eau*, 13 (4), p. 463-481.
- Roose E. (1999) « Montagne méditerranéenne en Algérie », *Cahiers Sécheresse*, N°. 10, p. 221-226.
- Seeger M., Errea M.P., Begueria S., Arnaez J., Marti C., Garcia-Ruiz J.M. (2004) "Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees". *J. Hydrol.*, 288, p. 299-311.

- Smith H-G. and Dragovich D. (2009) "Interpreting sediment delivery processes using suspended sediment discharge hysteresis patterns from nested upland catchments, south eastern Australia". *Hydrological Processes*, 23 (17), p. 2415-2426. DOI : 10.1002/hyp.7357
- Touaïbia B., Gomer D., Aïdaoui A., Achite M. (2001) « Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord », *Hydrol. Sci. J.*, 46(1), p. 41-53.
- Walling D.E. et Webb B.W. (1982) "Sediment availability and the prediction of stormperiod sediment yields", in *Recent Developments in the Explanations and Prediction of Erosion and Sediment Yield*. Proceedings of the Exeter Symposium, IAHS Publ. 137, p. 327-337.
- Walling D.E. (1984) *The sediment yields of African rivers*. I.A.H.S. Publ., Harare Symp., 144, p. 265-283.
- Williams G.P. (1989) "Sediments concentrations versus water discharge during single hydrologic events in rivers". *J. Hydrol.*, 111, p. 89-106.
- Wood P.A. (1977) "Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England", *Sedimentology*, 24, p. 437-445. DOI : 10.1111/j.1365-3091.1977.tb00131.x.
- Yang C.T. and Simoes F.J.M. (2002) *User's manual for GSTARS3 (Generalized Sediment Transport model for Alluvial River Simulation version 3.0)*. U.S. Bureau of Reclamation Technical Service Center, Denver, CO, 80225.
- Yles F. et Bouanani A. (2016) « Sédiments en suspension et typologie des crues dans le bassin versant de l'oued Saïda (Hauts plateaux algériens) », *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 29(3), p. 213-229. <https://doi.org/10.7202/1038925ar>.

NOTES

1. À cet égard, veuillez prêter attention aux travaux de Walling et Webb (1982) ; Klein (1984) ; Williams (1989) ; Asselman et Middelkoop (1998) ; Lenzi et Lorenzo (2000) ; Picouet et al. (2000) ; Yang et Simoes (2002) ; Benkhaled et Remini (2003b) ; Seeger et al. (2004) ; Le François et al. (2007) ; Bouanani et al. (2013) ; Elahcene et al. (2013) ; Megnounif et Ouillon (2013) ; Bouguerra et al. (2016) ; Yles et Bouanani (2016). Ces auteurs ont pu déterminer la source des sédiments dans le système en analysant systématiquement la relation d'hystérésis.

RÉSUMÉS

Le sous bassin versant de l'oued Djidiouia, affluent de la rive gauche du Cheliff près d'Oued Rhiou au nord de Relizane, s'étend sur 835 km². Ce bassin est assez représentatif de nombreux bassins de la frange nord semi-aride de l'Algérie. Dans cet article, nous nous intéressons à l'analyse de la relation débit/concentration à l'échelle des crues individualisées, orientée vers des représentations graphiques donnant le cadre montré dans l'ordre chronologique C et Q. Ainsi, l'analyse de l'évolution des concentrations des suspensions en fonction du débit lors des crues du sous bassin de l'oued Djidiouia a montré trois modèles de courbes (boucle horaire, boucle anti-

horaire et une forme de huit). Les modèles de classes III et V sont les plus fréquents, traduisant ainsi une forte disponibilité des sédiments après une saison sèche, où le sol est particulièrement fragilisé, et l'apparition d'un débit de pointe se plaçant avant la concentration maximale, qui reflète un dépôt net des sédiments dans le cours d'eau. Nous ne pouvons pas négliger le modèle de la classe II qui reflète un approvisionnement en sédiments même pendant la décrue.

The sub-basin of the Djdiouia wadi, tributary of the left bank of the Cheliff near Oued Rhiou north of Relizane, covers 835 km². This basin is quite representative of many basins of the semi-arid northern fringe of Algeria. In this paper, we are interested in the analysis of the discharge/concentration relationship at the scale of individualized floods, which is much more oriented to the graphs that give the framework presented in the chronological order C and Q. Thus, the analysis of the evolution of the concentrations of the suspensions according to the discharge during the floods of the sub-basin of wadi Djdiouia showed three models of curves (hourly loop, anti-clockwise loop and a form of eight). The models of classes III and V are the most frequent, reflecting a high availability of sediments after a dry season when the soil is particularly weakened and the appearance of a peak discharge before the maximum concentration, reflects a net deposition of sediments in the stream. We cannot neglect the Class II model, which is also necessary. It reflects a supply of sediment even during the flood.

INDEX

Mots-clés : Oued Djdiouia, Cheliff, concentration de sédiments en suspension, crue, modèle classe III et V, débit de pointe

Keywords : Djdiouia wadi, Cheliff, suspended sediment concentration, flood, class III and V model, peak discharge

AUTEURS

FAIZA HALLOUZ

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, Ain Defla, Algérie
Laboratoire Génie de l'Eau ENSH, Blida – Algérie.

MOHAMED MEDDI

Laboratoire Génie de l'Eau ENSH, Blida – Algérie.

SALAH EDDINE ALI RAHMANI

Laboratoire Geo-environnement FSTGAT, Université des Sciences Technologiques, Houari Boumediene, Alger, Algérie