

Les sédiments

du bassin versant
de l'**Usumacinta**
en 12 questions

Les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta en 12 questions

Coordinateurs scientifiques :

- **Isabelle Michallet**, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France
- **Pierre Charruau**, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C., Mexique
- **Claudia Monzón Alvarado**, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique

Comité éditorial :

- **Anne Clémens**, GRAIE-ZABR, France
- **Irini Djeran-Maigre**, Université Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, France
- **Anne Rivière-Honegger**, CNRS – UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, France
- **Edith Kauffer**, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique

Partenaires :

- Université Jean Moulin Lyon 3
- Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
- Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C.
- El Colegio de la Frontera Sur
- Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social

Pour citer cette publication : I. Michallet, P. Charruau, C. Monzón Alvarado (eds.), (2022), *Les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta en 12 questions*, GRAIE, France – ECOSUR Mexique

Les auteurs des différentes questions sont :

- **Gaëtan Bailly**, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France
- **Pierre Charruau**, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., Mexique
- **Oméya Desmazes**, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France
- **Irini Djeran-Maigre**, INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, France
- **Andrea Escamilla López**, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Mexique
- **Víctor Gallardo Zavaleta**, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Colegio de Michoacán, Mexique
- **Gabriela García Hidalgo**, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., Mexique
- **Ana González Besteiro**, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS-UMR 5600 EVS, France
- **Edith Kauffer**, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique
- **Daniel Levacher**, ComUE Normandie Université, Unicaen, M2C UMR 6143 CNRS, France
- **Claudia Monzón Alvarado**, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique
- **Luzma F. Nava**, Conacyt-Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C., Mexique
- **Jaime Rendón von Osten**, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Mexique
- **Anne Rivière-Honegger**, CNRS - UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, France
- **Ulises Rodríguez Robles**, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Mexique
- **Dad Roux-Michollet**, OCA Ecologie, France
- **Candelario Peralta Carreta**, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C., Mexique
- **Berenice Solís Castillo**, Investigadores del Cuaternario y Antropoceno-INCUA A. C., Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, Mexique
- **Miriam Soria Barreto**, Centro de Investigación de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Carmen, Mexique
- **Keiko Teranishi Castillo**, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Mexique
- **Hans van der Wal**, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Unidad Villahermosa, El Colegio de la Frontera Sur, Mexique
- **Ramón Zetina Tapia**, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Ecosur, Mexique

Les connaissances exposées dans cette publication sont également disponibles auprès de l'Observatoire des sédiments de l'Usumacinta (<http://sedimentos-usumacinta.mx>).

Afin d'en assurer la meilleure diffusion, la présente publication existe en français et en espagnol.

Remerciements à Mélissa Meaux, étudiante en Licence 3 Études hispano-américaines, Institut national universitaire Champollion-Albi, pour son aide à la traduction.

Sommaire

| | |
|--|-------|
| I INTRODUCTION | p. 6 |
| I Question 1 | |
| Que sont les sédiments fluviaux ? | p. 8 |
| I Question 2 | |
| Pourquoi étudier les sédiments et leur dynamique ? | p. 10 |
| I Question 3 | |
| Quel est le rôle des sédiments dans les écosystèmes ? | p. 14 |
| I Question 4 | |
| Quelles propriétés des sédiments pour quelles valorisations ? | p. 16 |
| I Question 5 | |
| Existe-t-il des risques associés à la pollution des sédiments ? | p. 20 |
| I Question 6 | |
| Comment les anciens peuples utilisaient-ils les sédiments du fleuve Usumacinta ? | p. 22 |
| I Question 7 | |
| Quels sont les usages actuels des sédiments ? | p. 26 |
| I Question 8 | |
| Quelle est l'organisation sociale autour de l'extraction des sédiments dans le bassin versant du fleuve Usumacinta ? | p. 30 |
| I Question 9 | |
| Qui réglemente l'usage des sédiments ? | p. 32 |
| I Question 10 | |
| Pourquoi et comment valoriser les sédiments en tant que ressource naturelle ? | p. 34 |
| I Question 11 | |
| Qu'est-ce que les observatoires socio-environnementaux ? | p. 38 |
| I Question 12 | |
| Pourquoi créer un Observatoire des sédiments dans le bassin versant de l'Usumacinta ? | p. 40 |
| I CONCLUSION | |
| Quel est le rôle – hier, aujourd'hui et demain – des sédiments dans le système socio-écologique de l'Usumacinta ? | p. 44 |

Les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta en 12 questions

Isabelle Michallet, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France

Pierre Charruau, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C., Mexique

Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique

Le fleuve Usumacinta est partagé entre les États mexicains du Tabasco, du Chiapas et de Campeche, et pour partie transfrontalier avec le Guatemala. Il est peu artificialisé sur la partie mexicaine et s'écoule librement. Le bassin versant de l'Usumacinta est un territoire stratégique, pour la diversité biologique et l'alimentation en eau douce, qui rend de multiples services environnementaux. Historiquement, il fut le berceau de la civilisation maya. Comme tous les socio-écosystèmes complexes, ce bassin versant est menacé par le changement climatique qui modifie le rythme des saisons et entraîne des bouleversements hydrologiques et écologiques; par les activités humaines qui provoquent, à des degrés divers, une pollution chronique ou temporaire des eaux et une altération des milieux naturels.

Les inégalités socio-économiques aggravent ces phénomènes, les populations vivant près du fleuve dans les zones rurales étant souvent en grande précarité matérielle.

Les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta peuvent être désignés par les habitants par des termes plus usuels : le sable, les galets et autres cailloux formant le lit du fleuve. Mais cette vision ne transcrit qu'imparfaitement l'importance des sédiments. Tour à tour argile, limon, boue, gravier, ils sont une composante essentielle de l'écosystème fluvial, abritant une vie secrète et participant à la dynamique du fleuve. Pour les êtres humains, ils sont une ressource minérale, extraite et travaillée de tous temps, tant pour la réalisation de poteries que comme amendement des terres cultivées ou comme matériaux de construction. Les fonctions écologiques, sociales et culturelles des sédiments de l'Usumacinta sont aussi fondamentales que méconnues.

La reconnaissance de leur rôle et leur protection sont indispensables, face aux menaces pesant sur le fleuve. Les usages passés, présents et à venir doivent être retracés, décrits, anticipés, repensés, afin que la valorisation de cette richesse naturelle se fasse de façon concertée au bénéfice des occupants des lieux, sans altérer l'équilibre de l'écosystème fluvial.

L'objectif de la présente publication, élaborée par des scientifiques mexicains et français, et destinée à tous

les publics curieux, est d'expliquer, en douze questions, les enjeux liés aux sédiments du bassin versant de l'Usumacinta : à quoi servent-ils, sont-ils pollués, quels en sont les usages au fil du temps, comment les valoriser?... Les réponses ont été rédigées par des spécialistes, souhaitant partager leurs connaissances des sédiments de l'Usumacinta et espérant contribuer à la construction d'une relation durable entre ce fleuve et les êtres humains qui le côtoient. À travers l'exemple de l'Usumacinta, les questions abordées sont celles qui se posent sur tout grand fleuve.

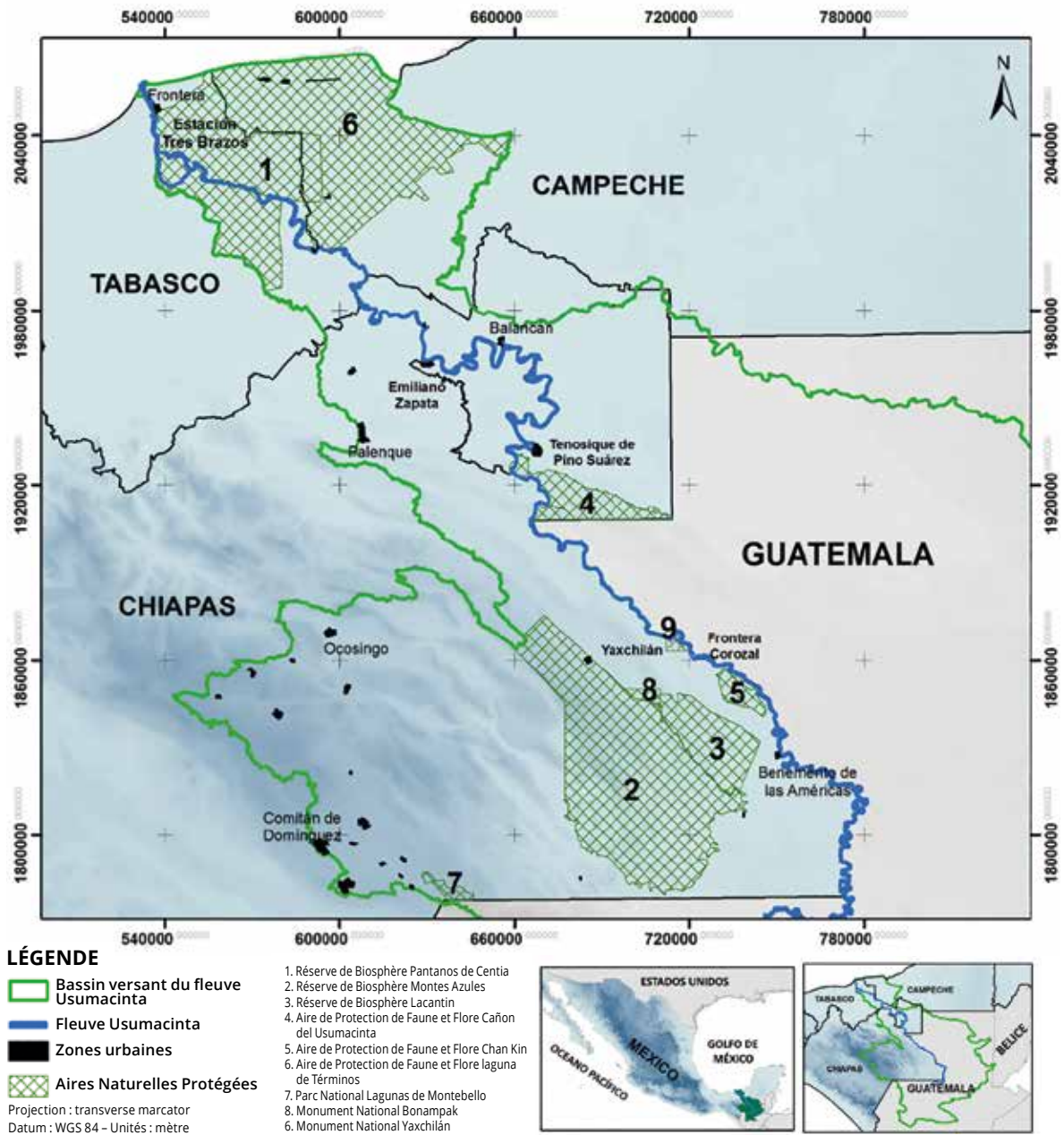
L'idée de ce travail doit beaucoup à la réalisation d'un ouvrage collectif *Le Rhône en 100 questions*, dirigé par Jean-Paul Bravard et Anne Clémens et publié en décembre 2008 aux éditions Graie¹. D'ambition plus modeste, *Les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta en 12 questions* reprend cette démarche de diffusion du savoir, d'intégration de chercheurs de disciplines différentes et d'ouverture internationale.

Cette publication a été produite dans le cadre d'une étroite collaboration scientifique associant des chercheurs mexicains et français de 2018 à 2022 : le projet VAL-USES « Des usages traditionnels à une valorisation intégrée des sédiments dans le bassin versant de l'Usumacinta ». Ce projet interdisciplinaire a été labellisé et financé par l'Agence Nationale de la Recherche française (ANR-17-CE03-0012-01) et le Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología mexicain (FONCICYT-290792).

Ce volume a été coordonné par Isabelle Michallet (Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France), Pierre Charruau (Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C., Mexique) et Claudia Monzón Alvarado (Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique), associés à un comité de rédaction composé d'Anne Clémens (ZABR, France), Irini Djeran-Maigre (INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, France), Anne Rivière-Honegger (CNRS – UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, France) et Edith Kauffer (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique).

¹ <http://www.graie.org/portail/rhone-100-questions>

Carte du bassin versant de l'Usumacinta



Publication issue du projet franco-mexicain VAL-USES « *Des usages traditionnels à une valorisation intégrée des sédiments dans le bassin versant de l'Usumacinta* ».

Projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche française (ANR-17-CE03-0012-01) et le Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología mexicain (FONCICYT-290792).

Mars 2022

1 Que sont les sédiments fluviaux ?

Ulises Rodríguez Robles, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Mexique

Hans van der Wal, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Unidad Villahermosa, El Colegio de la Frontera Sur, Mexique

Les sédiments fluviaux sont des matériaux naturels solides, qui sont déplacés d'un endroit à un autre par les courants des eaux, dans les bassins versants des fleuves. Ils sont constitués de petites particules d'argile, de limon et de sable, ou également de gravier et de roches, et peuvent être emportés par les fleuves lorsqu'ils s'écoulent avec une grande force.

■ L'origine et la pertinence écologique des sédiments

Les sédiments proviennent de l'altération des matériaux géologiques. Leur mouvement commence lors de l'érosion des sols, qui consiste en la séparation et le transport des particules du sol par la force de gravité et par le flux de l'eau. Celle-ci transporte les sédiments jusqu'aux ruisseaux et au lit principal des fleuves et les dépose temporairement dans les lits et les aires limitrophes (figure 1.1), ils peuvent arriver finalement jusqu'à la mer par l'embouchure du fleuve.

Les sédiments fluviaux sont une composante essentielle des écosystèmes aquatiques et terrestres environnants auxquels ils apportent une stabilité dynamique. Ils contrôlent les composants physiques et géomorphologiques de ces écosystèmes ; des changements dans la quantité et la distribution des différents sédiments causent des changements dans la forme du lit du cours d'eau et dans les habitats du bassin versant du fleuve. Les sédiments s'accumulent en grande quantité dans les plaines côtières, où le débit du cours d'eau est plus faible.

Il est commun d'observer des bancs de sédiments là où le lit du fleuve serpente. Ils sont déposés aussi dans le fond des cours d'eau, sur les rives des fleuves et sont dispersés sur de grandes aires de terres riveraines du fleuve grâce aux inondations durant les périodes de pluie. Depuis des millénaires, les personnes qui habitent près des fleuves extraient les sédiments de ces différents dépôts pour les utiliser, entre autres, pour la fabrication de céramiques.

■ L'importance des sédiments pour les personnes

Les sédiments ont une importante signification pour les familles qui habitent près du fleuve Usumacinta. Elles utilisent les sédiments pour la construction, autant pour des logements que pour la construction des infrastructures. Les villageois fabriquent des briques artisanales rouges pour la construction de logements (figure 1.2). Les paysans incorporent les sédiments dans leurs champs, fertilisant ainsi les sols. Dans l'aquaculture, ils sont utilisés pour l'élevage de *tilapia*. De par leurs usages, les sédiments favorisent une certaine organisation sociale, mais peuvent aussi faire l'objet de conflits.



Figure 1.1 : Banc de sédiments fluviaux constitué de dépôts de gravier et de sable. Territoire Emiliano Zapata, Tab. © U. Rodríguez Robles



Figure 1.2 : Atelier artisanal de briques rouges : adobe, brique et tuile. L'image montre la boue incorporée à partir de matières végétales séchées et d'argile pour la production de briques. © U. Rodriguez Robles

Les sédiments sont d'une grande importance pour les riverains du fleuve Usumacinta. Chaque jour, ils mettent en pratique leurs connaissances sur les caractéristiques, les utilisations et la gestion des sédiments. Traditionnellement, les sédiments ont servi de base à la fabrication de diverses poteries ; les habitants enrichissent les sols en incorporant des sédiments riches en nutriments ainsi qu'en microflore et faune. Les deltas et les rives des fleuves, où se déposent de nombreux sédiments, sont souvent les zones agricoles les plus fertiles d'une région. Les zones présentant des différences subtiles dans la composition des sédiments offrent un grand nombre d'habitats, favorisant la biodiversité, la flore et la faune, et contribuent à une pêche fluviale diversifiée.

■ Les sédiments en d'autres termes

Selon les zones d'extraction et les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques des sédiments, les habitants leurs donnent de nombreux noms.

La vase (*fango*) : c'est le mélange de terre et de restes organiques végétaux en décomposition qui se déposent au fond du fleuve. On peut également trouver ce matériau sur les berges des étangs et dans les eaux saturées lorsque le fleuve déborde. Elle est utilisée en agriculture comme conditionneur organique et comme stabilisateur pour l'élevage de poissons en piscine ou en bassins.

La boue (*lodo*) : ce nom est donné aux sédiments déposés dans les pâturages et qui ont une forte teneur en argile et en matières végétales sèches comme les graminées (famille des *Poaceae*). Cette ressource est utilisée pour l'élaboration de briques rouges artisanales.

Sable et pierre (*arena y piedra*) : ce matériel est extrait en pirogue au milieu des cours d'eau. Le sable est constitué de particules très fines qui se déposent et forment des îles localisées. La pierre, qui est de plus grande taille, est déposée dans le fond du fleuve. Les deux ressources sont utilisées pour la construction.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments fluviaux se composent de sable, d'argile, de limon, de gravier et même de roches qui se déplacent principalement le long des cours d'eau dans les bassins versants. Ils proviennent initialement de l'érosion du sol et sont déposés par les cours d'eau et les fleuves sur les rives, au fond des lacs et dans les zones humides, ou continuent de se déplacer au-delà de l'embouchure du fleuve jusqu'à la mer.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- ▶ **Agricultural Watershed Institute**, <https://agwatershed.org/research-focus-areas/sediment-use/>
- ▶ **USGS. Water Science School. Sediment and Suspended Sediment**, <https://answers.usgs.gov>
- ▶ **Cabadas-Báez, H. V., Sedov, S., Jiménez-Álvarez, S. del P., Leonard, D., Lailson-Tinoco, B., García-Moll, R., Ancona-Aragón, I. I., & Hernández-Velázquez, M. L.** (2018). Soils as a source of raw materials for ancient ceramic production in the Maya region of Mexico: Micromorphological insight. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(1), pp. 21-48 – <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2018v70n1a2>

2 Pourquoi étudier les sédiments et leur dynamique ?

Dad Roux-Michollet, OCA Ecologie, France

Les sédiments façonnent le paysage fluvial, qu'ils soient visibles comme les galets ou d'invisibles particules fines en suspension dans l'eau du fleuve. Ce sont eux qui composent le fond du lit et créent des habitats pour les espèces aquatiques ; on les retrouve aussi sur les berges et plus loin dans la plaine alluviale lorsque les crues les emportent et les déposent à plusieurs mètres ou centaines de mètres des rives.

Depuis les civilisations les plus anciennes comme les Mayas, les sociétés humaines ont utilisé les sédiments de l'Usumacinta pour fabriquer des objets, construire des maisons et des routes. Mais l'intensification des activités anthropiques le long du fleuve et sur l'ensemble du bassin versant modifie la quantité et la qualité des sédiments (figures 2.1 a et 2.1 b).

Les composantes écologiques et humaines doivent donc être considérées conjointement : les sédiments jouent un rôle dans le maintien des espèces et pour les sociétés riveraines.

Pourquoi les sédiments sont indispensables au bon état écologique du fleuve ?

Le fleuve renferme une biodiversité faunistique et floristique très riche. Le chenal abrite divers habitats aqua-

HABITAT : Milieu propre à la vie d'une espèce, offrant les conditions nécessaires pour assurer une ou plusieurs fonctions vitales (alimentation, reproduction, repos, protection). Tout changement de fonction peut s'accompagner d'un changement d'habitat. De même, les exigences des individus changent généralement au cours de leur cycle de vie et se traduisent par des changements d'habitat.

tiques pour les poissons et les invertébrés ; les fonds hébergent de nombreuses plantes entièrement submergées, et des algues microscopiques s'y développent. La



Figure 2.1 a : Retour d'un pêcheur de sable, extraction artisanale de matériaux et stockage sur les berges.

© D. Roux-Michollet

rive qui borde le cours d'eau recèle une flore semi-aquatique abondante, milieu de vie pour de nombreuses espèces animales, parmi lesquelles les crocodiles et les amphibiens. Sur les berges se développe la ripisylve, forêt alluviale recouverte de végétation adaptée à cet environnement humide, qui protège le fleuve contre les excès de sédiments et éventuellement de polluants. De très nombreux oiseaux y nichent. Enfin dans la plaine alluviale, on retrouve des prairies parfois inondables et des marais.

Dans son fonctionnement naturel, le fleuve érode, transporte et dépose les matériaux solides provenant des parties amont du bassin et de ses berges. Ainsi, les sédiments, en modelant le paysage de manière hétérogène, contribuent au maintien de la biodiversité en offrant une mosaïque d'habitats.

Les sédiments jouent donc un rôle essentiel pour le bon état écologique du fleuve et son bon fonctionnement.

Il est important d'identifier et de comprendre les liens entre les formes sédimentaires et la diversité des milieux d'intérêt écologique, qu'ils soient aquatiques ou riverains, afin de les protéger ou de les restaurer.

■ Que pouvons-nous apprendre des mécanismes de transport des sédiments ?

Les flux de sédiments fins et grossiers peuvent évoluer sous l'influence des conditions climatiques. Ainsi, le lit

du fleuve et sa plaine alluviale se transforment naturellement au gré des crues et des étiages. Les mécanismes de transport sont également influencés par les aménagements qui créent des obstacles ou modifient les écoulements. Les études géomorphologiques permettent d'identifier les secteurs où les sédiments sont en excès (dépôt) ou au contraire en déficit (érosion).

La caractérisation du fonctionnement hydro-sédimentaire du fleuve consiste à :

- ▶ évaluer la variabilité spatiale et temporelle des processus d'érosion et de dépôts au regard des conditions hydrologiques ;
- ▶ quantifier la charge sableuse et les flux de matière en suspension ;
- ▶ estimer la quantité de matériaux qui transite annuellement dans l'Usumacinta ainsi que les apports au Golfe du Mexique ;
- ▶ identifier la contribution des différents affluents.

Selon l'origine des roches érodées et la géochimie des sols lessivés, les particules sédimentaires ont des propriétés physico-chimiques différentes. La compréhension des processus de sédimentation (dépôt) en lien avec la problématique des stocks de contaminants permet d'évaluer les niveaux de pollution des sédiments dans le chenal et sur les marges fluviales, ainsi que leur mobilité et les risques de relargage.



Figure 2.1 b :
Élevage de poissons
et parcelle cultivée.
© D. Roux-Michollet.

2



a

Figures 2.2 a et b : (a) Digue de protection contre les crues ; (b) Dépôts sauvages d'ordures ménagères. © D. Roux-Michollet



b

L'étude de la dynamique morpho-sédimentaire permet donc de mieux appréhender l'évolution des formes du fleuve, et des flux de sédiments et de contaminants associés.

■ Pourquoi étudier la « valeur sociale » des sédiments ?

La dynamique naturelle des sédiments ne peut être abordée sans prendre en compte leur valeur sociale. Les sédiments font partie du paysage fluvial, ils servent d'ancrage à de nombreuses activités et sont une ressource essentielle pour la construction.

■ Comment limiter l'altération de la dynamique sédimentaire naturelle ?

Les pratiques touchant directement les stocks sédimentaires ou les formes fluviales peuvent avoir un impact sur le fonctionnement des milieux aquatiques. Que ce soit pour l'extraction des matériaux, le développement de l'agriculture ou encore la construction de digues pour se protéger des crues, les activités humaines ont des répercussions importantes sur la morphologie du fleuve et les conditions d'écoulement (figure 2.2 a). Ces changements hydromorphologiques entravent la dynamique fluviale et altèrent la diversité et la qualité des habitats biologiques, indispensables à la reproduction, la nutrition et au repos des espèces. Par ailleurs, la présence de l'homme et ses activités domestiques, industrielles ou minières, modifient les caractéristiques physico-chimiques des sédiments, notamment en termes de contaminants organiques et métalliques (figure 2.2 b).

Pour assurer la pérennité des écosystèmes et des services qu'ils rendent aux populations, il est important de mieux comprendre les interactions entre les processus d'érosion/dépôts de sédiments et les processus biologiques, de suivre l'évolution morphodynamique du chenal sur le long terme, mais aussi d'identifier les sources de contamination des sédiments (agrochimie, eaux usées, ordures ménagères...) et comprendre les processus de stockage et transfert de polluants.

Enfin, il est nécessaire de trouver des consensus entre les besoins humains et les impacts qu'ils génèrent. Cela passe par la régulation, la réglementation et la gouvernance des usages intensifs ; mais aussi par la valorisation des usages traditionnels plus durables pour les écosystèmes.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

L'Usumacinta transporte des sédiments qui sont une composante indispensable pour son équilibre écologique et pour les sociétés qui l'entourent. La construction de consensus pour concilier tous ces besoins passe par une bonne connaissance des évolutions des dynamiques sédimentaires du fleuve et des usages, et par la gestion intégrée des ressources.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- **Schmutz, S., & Sendzimir, J. (Eds.). (2018).** *Riverine Ecosystem Management. Science for Governing Towards a Sustainable Future*. Cham, Suiza: Springer.

3 Quel est le rôle des sédiments dans les écosystèmes ?

Gabriela García Hidalgo, Candelario Peralta Carreta et Pierre Charruau, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., Mexique

Miriam Soria Barreto, Centro de Investigación de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Carmen, Mexique

Les sédiments jouent un rôle fondamental dans les processus de formation, de régulation, de fonctionnement et de dynamique des écosystèmes aquatiques, à la fois intérieurs (les fleuves et les lacs) et côtiers (les lagunes côtières, estuaires). Dans les écosystèmes côtiers, qui sont considérés comme des environnements hautement productifs, les sédiments contiennent une grande quantité de matière organique et fournissent d'importantes substances nutritives.

■ Les sédiments dans les systèmes fluviaux

Les fleuves sont des écosystèmes dynamiques, caractérisés par le transport et le dépôt des sédiments le long de leur parcours. L'origine des sédiments provient de sources internes, issues de l'érosion des rives du chenal principal et de ses affluents, et externes, produit de l'érosion des sols dans le bassin versant. L'érosion est un processus géomorphologique, qui favorise la succession de la végétation riveraine et crée des habitats dynamiques cruciaux pour les plantes, les animaux aquatiques et riverains.

Dans les systèmes fluviaux, les sédiments sont transportés des zones les plus profondes aux zones les moins profondes. Les sédiments plus légers restent en suspension, mélangés à l'eau. Lorsque le débit ou la vitesse d'écoulement diminue, les sédiments se déposent. Avec le passage du temps se créent des zones appelées « plages » et « îles fluviales », qui modifient la

PERIPHYTON : communauté composée principalement d'algues, de bactéries, de champignons et d'invertébrés. On les appelle communément « vase » ou « limon ».

forme du lit du fleuve et son débit (figure 3.1 a et b). Généralement, le dépôt se produit pendant l'étiage et dans la partie aval des fleuves. Par contre, durant la saison des pluies, le volume d'eau augmente, les vitesses du flux augmentent en conséquence, les débordements, les processus érosifs et le transport des sédiments sont facilités.

■ La relation de la faune et de la flore avec les sédiments

Le sédiment épais forme la structure physique de l'habitat aquatique de diverses espèces, il constitue le

Figure 3.1 a et b : Accumulation de sédiments dans le fleuve Usumacinta, Mexique. Gauche 1969 et droite 2019. Google Earth.



Figure 3.2 a et b : Plages végétalisées et nids du poisson *Pterygoplichthys* sp. dans le fleuve Usumacinta. © M. Soria Barreto.



substrat pour le développement de la végétation (figure 3.2 a); ainsi que l'habitat de la faune benthique comme les éponges, les planaires, les sangsues, les vers, les insectes, les mollusques, les crustacés et les poissons (figure 3.1 b). Le substrat permet l'échange d'oxygène et sert de zone de refuge contre les prédateurs.

Les sédiments fins constituent une source de nourriture pour le périphyton et les organismes filtreurs (par exemple les palourdes, les crevettes). Lorsqu'il sont déposés, les sédiments peuvent être utilisés comme lieu de nidification pour divers animaux, comme l'hirondelle rustique (*Riparia riparia*).

L'excès de sédiments affecte les systèmes fluviaux. La photosynthèse et le plancton sont réduits, en raison de la diminution de la pénétration de la lumière due à la turbidité de l'eau. De plus, la température de l'eau augmente parce que les particules sombres des sédiments absorbent plus de chaleur. Dans les plantes telles que les joncs, les massettes et les roseaux, les racines et les feuilles peuvent être abîmées par l'abrasion. Les poissons peuvent voir leur taux de croissance diminuer ou mourir à cause des sédiments qui obstruent leurs branchies; les sites de frai et la disponibilité de la nourriture dans le fond en sont affectés, ce qui entraîne des modifications de l'habitat et des schémas de migration pour certaines espèces.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments sont des particules solides qui proviennent de l'érosion des sols et sont transportés par des systèmes fluviaux. Ils se déposent dans le fond du chenal, tout en modifiant la morphologie et la dynamique des fleuves. Ils constituent le substrat qui sert au développement des plantes et l'habitat de la faune benthique. L'augmentation excessive de la quantité de sédiments produit des effets négatifs sur les communautés aquatiques.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management*, 21(2), 203-217.
- Florsheim, J. L., Mount, J. F., & Chin, A. (2008). Bank erosion as a desirable attribute of rivers. *BioScience*, 58(6), 519-529.

4

Quelles propriétés des sédiments pour quelles valorisations ?

Irini Djeran-Maigre, INSA Lyon, laboratoire GEOMAS, France

Les sédiments fluviaux et marins sont des géomatériaux naturels (figure 4.1) dont les propriétés peuvent être étudiées en les regroupant par catégories. Une extraction manuelle permet de disposer des échantillons pour les caractériser (figure 4.2). L'étude des propriétés des sédiments, (chimique, mécanique, hydrique...), est indispensable pour orienter leur valorisation dans des filières adaptées.

L'identification des propriétés des sédiments regroupés par catégorie

L'analyse de l'état microstructural des sédiments permet d'identifier l'arrangement des particules solides et de déterminer l'espace poral que cet arrangement crée. La distribution des tailles des pores (mesurée à l'aide des isothermes d'adsorption d'azote), et le calcul de la mesure de la surface spécifique (somme de toutes les surfaces des particules solides accessibles contenues dans une unité de masse de sédiment) caractérisent cet espace. L'interface solide-liquide est le siège de phénomènes physico-chimiques et son analyse devient importante pour l'utilisation des sédiments dans des filières agronomiques ou de la fabrication de briques.

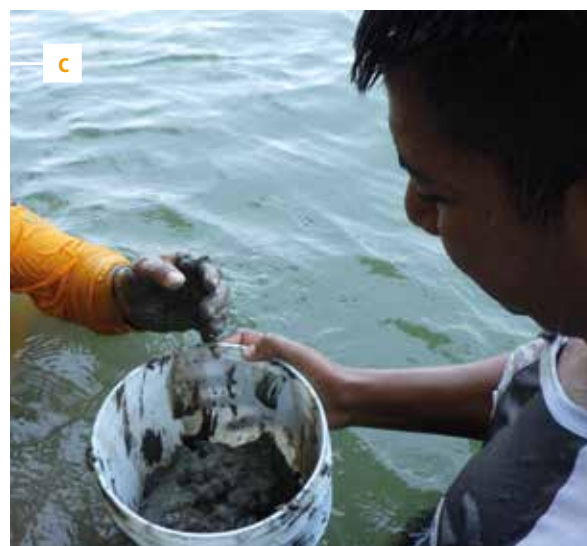
La caractérisation physique des sédiments, réalisée à l'aide d'essais d'identification, comprend les mesures de la teneur en eau, de la porosité, de l'indice des vides et des différents poids volumiques en fonction de l'état (sec, humide ou saturé) et des phases présentes dans le sédiment (solide, liquide, gazeuse). La taille des grains et leur pourcentage pondéral donnent accès à la granulométrie. L'argilosité des sédiments est caractérisée par la valeur au bleu de méthylène. Les limites dites d'Atterberg, permettent de séparer les états solide, plastique et liquide en fonction de l'état hydrique des sédiments. Elles sont exprimées par les teneurs en eau définissant la consistance et les indices qui différencient ces états. La combinaison de ces valeurs permet de classer les sédiments d'une manière universelle, en fonction des

Figure 4.1 : 10 échantillons des sédiments du fleuve Usumacinta provenant de 5 sites de Tenosique et de 5 sites de Jonuta (Tabasco, Mexique). © I. Djeran-Maigre 2019





Figure 4.2 : Prélèvements manuels des sédiments de l'Usumacinta : (a) avec cône, (b) avec pelle, (c) avec seau.
© I. Djeran-Maigre, avril 2018.



propriétés exigées pour une utilisation géotechnique spécifique.

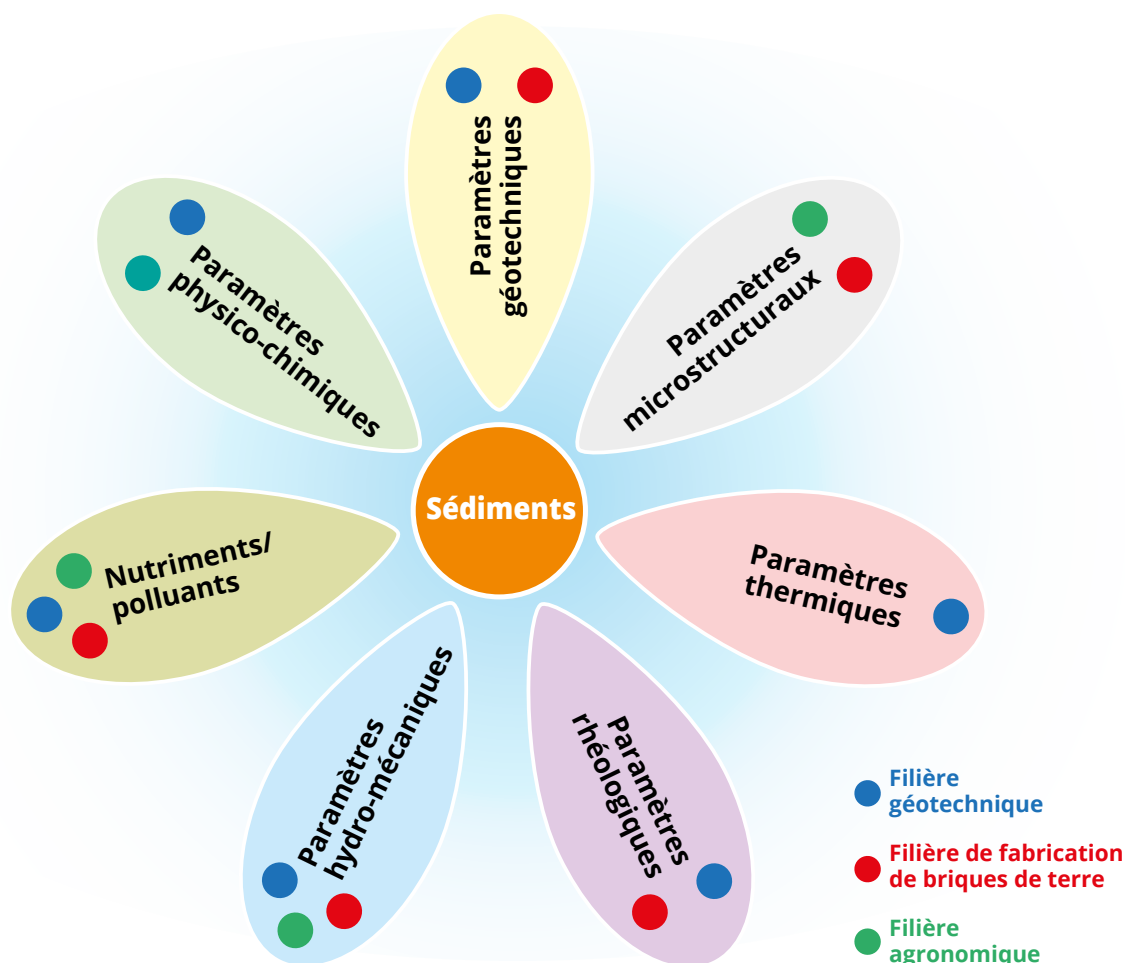
Les propriétés chimiques des sédiments incluent :

- ▶ l'analyse minéralogique par diffraction des rayons X qui permet d'expliquer le comportement macroscopique en fonction de la composition microstructurale ;
- ▶ la capacité d'échange cationique qui exprime la possibilité d'attirer les cations (qui sont des ions avec

des charges électriques positives) sur la surface des particules solides (ayant des charges électriques négatives) ou la capacité d'échanger des places avec d'autres cations ;

- ▶ la teneur en matière organique ;
- ▶ la teneur en carbonate de calcium qui est un indice de résistance mécanique et de la sensibilité à l'eau ;
- ▶ le pH et la conductivité électrique utiles pour la prospection de la valorisation agricole du sédiment.

Figure 4.3 : Propriétés des sédiments par catégories et par filières. © I. Djeran-Maigre 2020



Ces analyses permettent d'identifier quels types de minéraux sont présents dans les sédiments, comment ils s'organisent dans l'espace, comment ils s'associent, quels nutriments ou pollution ils recèlent. La compréhension de ces propriétés est essentielle quelle que soit la filière de valorisation envisagée (figure 4.3).

Pour certaines valorisations, notamment la filière géotechnique incluant la fabrication des routes, des remblais et des digues et la filière de fabrication de briques en terre, la connaissance des paramètres d'aptitude au compactage (aptitude à la réduction du volume du sédiment sous l'application temporaire d'une surcharge avec l'objectif d'augmenter sa résistance et de réduire les tassements et au poinçonnement, capacité portante développée contre l'enfoncement d'une charge localisée), est primordiale. Il s'agit de comprendre comment le sédiment va se comporter macroscopiquement sous charges : va-t-il se tasser ? De combien ? Sur quelle durée ? Va-t-il rompre ?

Les paramètres hydro-mécaniques sont mesurés à l'aide d'essais « œdométriques » qui permettent d'accéder aux déformations générées par l'application des charges. La compressibilité, le retrait ou gonflement et la contrainte de pré-consolidation sont des paramètres déterminés par les courbes contrainte-déformation ; la consolidation exprime, quant à elle, l'évolution du tassement en fonction du temps.

La perméabilité, qui représente la vitesse avec laquelle l'eau interstitielle traverse les pores connectés entre eux, est un paramètre clé du comportement hydro-mécanique des sédiments et peut être mesurée à l'aide du même essai.

Les paramètres de rupture, la cohésion et l'angle de frottement interne des grains, sont mesurés par les essais triaxiaux via les chemins de contraintes totales ou effectives. L'écoulement des sédiments est étudié en mesurant leur viscosité en fonction du gradient de cisaillement. Il s'agit de **la rhéologie ou de la science de l'écoulement**.

Les paramètres thermiques, comme les conductivités thermiques, les dilatations thermiques, du sédiment et de ses différentes phases, sont requis pour les filières géotechniques.

La présence des nutriments comme le calcium, le magnésium, le phosphore et le potassium, importants pour les applications agronomiques, et la détermination de la pollution éventuelle sont explorées par des analyses chimiques. La teneur en métaux lourds est mesurée par la technique analytique à plasma à couplage inductif combiné à la spectrométrie de masse, et permet l'analyse des éléments selon leurs charges électriques et leur masse ou par la spectrométrie d'émission atomique qui mesure les longueurs d'ondes émises par les ions. La recherche des pesticides, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB), à l'aide de la chromatographie liquide et gazeuse et la spectrométrie de masse, est nécessaire pour l'évaluation du niveau de la pollution. Les concentrations en nitrate, nitrite, chlore et sulfate contenues dans l'eau sont mesurées par spectrophotométrie.

Cet ensemble de propriétés représente **la fiche d'identité d'un sédiment**.

■ Les propriétés ou paramètres requis des sédiments en relation avec les filières de valorisation ciblées

Pour sélectionner les filières potentielles de valorisation de sédiments, il convient d'avoir une connaissance approfondie des propriétés et du comportement des sédiments à des échelles spatiales et temporelles différentes. Tous les paramètres et/ou propriétés ne sont pas nécessaires. Leurs explorations dépendent des filières de valorisation ciblées.

La filière de fabrication des briques en terres cuites, en terres comprimées et en terres crues, nécessite au préalable d'évaluer la teneur en eau ou les tailles de grains ou encore la présence des différents oxydes, à l'aide de diagrammes de faisabilité pour la mise en œuvre et la cuisson. Des essais hydro-mécaniques et la rhéologie s'avèrent utiles pour juger de la pertinence de la mise en forme des briques et de leur séchage pour les terres crues.

La filière géotechnique dédiée aux remblais et couches de forme qui prévoit la réalisation de routes revêtues ou non, de terrassements, de corps de digues, mobilise les paramètres physico-chimiques, géotechniques et hydro-mécaniques des sédiments.

La filière agronomique pour la réparation des sols par amendement et épandage, nécessite de connaître les

comportements microstructural, physico-chimique et hydro-mécanique des sédiments ainsi que la présence des nutriments et de pollution éventuelle.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments fluviaux ou marins sont des géomatériaux naturels et leurs propriétés multi-échelles (au niveau de la micro, méso et macrostructure) sont étudiées à l'aide d'expérimentations normalisées ou originales. Ces propriétés sont couplées ou indépendantes et permettent de comprendre le comportement thermo-hydrémécanique et chimique des sédiments.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- **Djeran-Maigre, I., Levacher, D., Razakamanantsoa, A.-R.** (2020). Les sédiments fluviaux de l'Usumacinta du Mexique et leur valorisation, *XX^{es} Journées nationales de géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur*, Lyon 2020. <https://www.geotechnique.org/jngg2020/files/297751.pdf>
- **Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., & Razakamanantsoa, A.-R.** (2021). *Sediment-based fired brick strength optimization A discussion on different approaches*. XVI^{es} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre 2020. <https://doi.org/10.5150/jngcg.2020.072>
- **Mitchell, J. K., Soga, K.** (2005). *Fundamentals of soil behaviour*, New York: John Wiley & Sons.

5 Existe-t-il des risques associés à la pollution des sédiments ?

Andrea Escamilla López et Jaime Rendón von Osten, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, Mexique

Les sédiments sont un composant indispensable pour les systèmes aquatiques. Ils concourent à l'hydrodynamique des fleuves, contribuent à la formation du littoral côtier et transportent les nutriments dans les écosystèmes. Les sédiments peuvent être une source de pollution pour la vie aquatique, ce qui implique des risques environnementaux et sanitaires, comme la détérioration des habitats et des ressources, des effets à long terme sur la santé des êtres vivants, en plus de compromettre la sécurité alimentaire et ainsi la santé humaine.

■ Les sédiments et contaminants chimiques

Sur les sédiments peuvent se déposer des contaminants persistants, bioaccumulables et toxiques, produits par des processus naturels et/ou anthropiques (par exemple zones urbaines, activités industrielles et agricoles), et transportés par les eaux superficielles, ruissellements, décharges et drainages (figure 5.1). Parmi les principaux composants chimiques se trouvent : les pesticides organochlorés (OCs), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), les combustibles, les métaux lourds, et beaucoup d'autres encore.

L'affinité d'un contaminant aux particules de sédiment, principalement la matière organique, est fonction d'une propriété appelée coefficient de partition octanol-eau (KOW). Par exemple, les composants chimiques avec un KOW bas sont facilement solubles dans l'eau, alors que ceux avec un KOW haut sont hydrophobes (pas miscibles dans l'eau) et sont habituellement associés aux particules de sédiments. Le DDT, les retardateurs de feu, certains hydrocarbures et autres composants sont des exemples de contaminants hydrophobes. La partie des sédiments constituée de limon et d'argile



Figure 5.1 : Rejet d'eaux résiduelles dans le fleuve Usumacinta, Mexique.
© A. Escamilla, 2019.



BIOACCUMULATION : processus d'accumulation de substances chimiques dans les tissus des organismes.

BIOMAGNIFICATION : tendance de quelques substances chimiques à s'accumuler le long de la chaîne trophique, exhibant des concentrations successivement plus grandes en montant de niveau trophique.

Figure 5.2 : Prédation du crocodile Américain.
© P. Charruau, 2008.

(< 63 µm) est la fraction dans laquelle adhère ce type de polluants, notamment en raison de la forte teneur en carbone organique présente. Dans ce cas le coefficient de partition est en lien avec le carbone organique des sédiments (KOC). La seule présence de contaminants dans les sédiments représente un risque pour les organismes exposés, c'est pour cela que la NOAA (Administration Nationale Océanique et Atmosphérique) a établi des critères internationaux de contaminants organiques dans les sédiments pour la protection des organismes d'eaux douces et côtières.

■ Les risques dans les écosystèmes aquatiques à cause de sédiments contaminés

Les sédiments contaminés ont des effets écologiques pour les systèmes aquatiques, car ils peuvent modifier les caractéristiques naturelles de la colonne d'eau, occasionner la destruction de l'habitat, perturber la vie aquatique et les organismes qui dépendent d'elle, affectant ainsi des chaînes alimentaires complètes.

Les contaminants chimiques associés aux sédiments entrent dans la chaîne alimentaire de diverses manières. Ils peuvent interagir avec les organismes de premier niveau trophique, c'est-à-dire les espèces productrices (algues, plantes) et entrer à travers l'absorption. Les sédiments fins (riches en matière organique) constituent la source alimentaire d'espèces benthiques filtreuses (palourdes) et détritivores (crevettes), pouvant être ingérées directement par les poissons, qui, à leur tour, servent d'aliments pour d'autres prédateurs supérieurs (oiseaux, reptiles, mammifères marins). Ces derniers, peuvent avoir des concentrations de contaminants plus élevées dans leurs tissus, du fait des processus de bioaccumulation et biomagnification qui se produisent dans la chaîne trophique.

Quelques études scientifiques ont démontré que les contaminants chimiques ont des effets mutagènes, cancérogènes, avec la capacité d'imiter les estrogènes (système hormonal) dans différentes espèces aquatiques (mammifères, oiseaux, poissons, reptiles, etc.) (figure 5.2), ce qui entraîne des modifications dommageables dans le développement et la reproduction des organismes. De telles causes peuvent diminuer les populations d'espèces qui nourrissent les autres ; ou encore, permettent l'apparition de ravageurs secondaires due à la réduction de leurs prédateurs naturels.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments, indispensables à l'équilibre physique et biologique des fleuves et rivières, peuvent être le support de polluants résultant de processus naturels ou anthropiques. Ces contaminants peuvent être ingérés par les espèces aquatiques avec des effets néfastes importants à tous les niveaux de la chaîne trophique et des écosystèmes.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- ▶ **Chopra, A. K., Sharma, M. K., & Chamoli, S.** (2011). Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system- an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 905-916. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1433-4>
- ▶ **Apitz, S. E.** (2012). Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SECoRA). *Science of The Total Environment*, (415), 9-30. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.060>
- ▶ **Ongley, E. D.** (1997). *Contaminación provocada por los sedimentos*. FAO. <https://bit.ly/30jWSbg>

6 Comment les anciens peuples utilisaient-ils les sédiments du fleuve Usumacinta ?

Berenice Solís Castillo, Investigadores del Cuaternario y Antropoceno-INCUA A. C., Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, Mexique

Keiko Teranishi Castillo, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Mexique

Les larges plaines du fleuve Usumacinta ont été le théâtre de l'établissement de sociétés depuis environ 3 500 avant J.-C. (figure 6.1). Les sédiments que le fleuve transporte le long de son cours sont l'un des facteurs qui a contribué au développement de l'une des plus grandes civilisations méso-américaines. Les Mayas y ont construit leurs villages et leurs villes, laissant leurs vestiges dans les terrasses qui refont progressivement surface sous l'action érosive du fleuve. Les sédiments conservent en leur sein les traces de la civilisation maya, de son origine à son effondrement. Voici un aperçu de son histoire à partir de trois des nombreuses activités que les sociétés mayas menaient le long du fleuve Usumacinta : l'agriculture, la construction de villages et de villes, et la production d'ustensiles (poteries).



Figure 6.1 : Distribution des sites archéologiques découverts sur les rives du fleuve Usumacinta moyen entre les municipalités actuelles de Tenosique et Emiliano Zapata. © K.T.C/PRAUS. Design, Modelage et Rendu : C. V. Salazar González

■ L'agriculture

L'agriculture était une activité essentielle pour les sociétés installées le long du fleuve Usumacinta. Les nutriments transportés par le fleuve et ses sédiments se déposaient régulièrement sur les rives. Cela a permis le développement d'une agriculture intensive qui assurait la subsistance de la population, celle-ci pouvait

même échanger une partie des produits agricoles, ce qui a donné lieu à l'émergence des premières villes. La source constante d'eau pour l'irrigation, provenant du fleuve et des plans d'eau, a permis une longue histoire d'interaction société-nature, qui n'a pas été interrompue par la grande sécheresse ayant anéanti les villes mayas dans d'autres régions.

■ Construction de villages et de villes

Les sites archéologiques découverts dans les plaines du fleuve Usumacinta sont de l'époque Olmèque. Les sites archéologiques les plus anciens du fleuve Usumacinta datent de 1800 à 800 avant Jésus-Christ. Ces villes et villages ont été construits avec des matériaux provenant du fleuve. De grandes quantités de terre et de sédiments de surface provenant des plaines fluviales ont été utilisées pour réaliser des plateformes, sur les-

quelles des huttes faites de palmiers et d'un mélange de boue, de sable et de végétaux – connu des archéologues sous le nom de *bajareque* – ont été construites sur des structures de branches ou de roseaux. Ainsi, il était fréquent que les villages soient situés près du fleuve. Il était alors facile d'obtenir des matériaux, non seulement pour les maisons, mais aussi pour fabriquer des ustensiles en argile et cultiver les sols fertiles des plaines fluviales (figure 6.2).

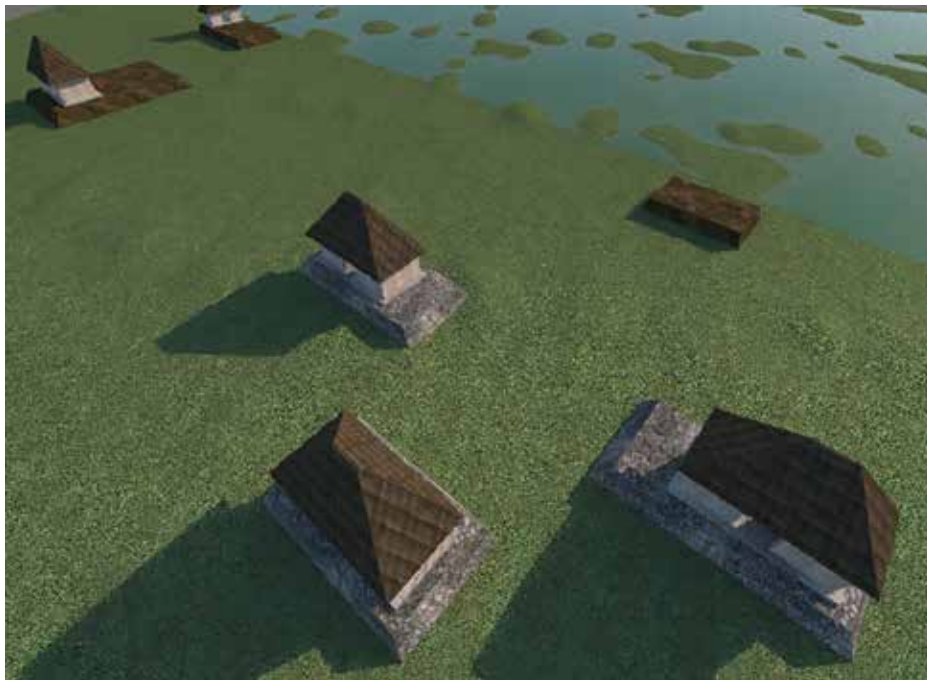


Figure 6.2 : Reconstruction des villes construites le long du fleuve Usumacinta.
© K.T.C/PRAUS. Design, Modelage et Rendu : C. V. Salazar González





Figure 6.3 : Reconstruction des maisons construites le long du fleuve Usumacinta à différentes périodes : ci-dessus : construction préclassique (2200 av. J.-C. - 897 av. J.-C.) ; ci-dessous : construction de la période classique (350- 800 ap. J.-C.).
© K.T.C/PRAUS. Design, Modelage et Rendu : C. V. Salazar González



Ultérieurement, les huttes de roseaux ont été recouvertes d'un mélange de sédiments argileux provenant du fleuve – une boue – qui était ensuite cuite par combustion sur des bûchers posés à même le sol. Dans ce processus, ce mélange était chauffé, transformant l'argile en terre cuite. De même, à l'intérieur, une couche d'argile était placée sur les murs, et là encore, un feu était allumé, provoquant la cuisson de l'argile pour ter-

miner le traitement. De cette façon, les maisons étaient plus durables et résistantes à la pluie et au vent.

Au fil du temps, la technologie de construction a subi un changement substantiel ; pour les périodes plus tardives, des briques de boue et l'adobe, fabriqués à partir des sédiments sableux et argileux du fleuve, ont été utilisés (figure 6.3).



Figure 6.4 : Artéfacts et ustensiles en argile mélangée à des sédiments. © K. Teranishi Castillo/INAH Abajo Sello de arcilla



CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments de l'Usumacinta sont une ressource pour les habitants depuis l'époque maya, ils ont été utilisés pour l'agriculture, la construction des habitations et la réalisation de poteries, avec un savoir-faire qui a évolué au fil du temps et qui atteste d'une grande connaissance du fleuve et de ses richesses.

■ La production d'ustensiles en terre cuite

Dès les premiers temps, l'élaboration d'ustensiles en terre cuite – des poteries – était très développée pour la terre blanche, que l'on peut facilement distinguer sur les rives du fleuve. Cette terre blanche est constituée de cendres volcaniques projetées lors d'une grande éruption qui a recouvert tout le Tabasco et d'autres régions du sud-est du Mexique, allant même jusqu'au Golfe du Mexique.

Les poteries fabriquées par les habitants du fleuve Usumacinta ont une empreinte unique : dans leur composition, on retrouve 95 % de cendres volcaniques des volcans du Belize, combinées aux sédiments argileux du fleuve. Cette céramique est facilement identifiable par les archéologues, elle a été trouvée dans les cités mayas du Yucatan, de Campeche, de Quintana Roo, du Belize, du Chiapas et d'autres régions.

Cette large distribution est une preuve importante pour les archéologues car elle témoigne du commerce et des contacts entre les villes. Le vaste commerce des poteries est dû à la grande qualité et à la durabilité de ces ustensiles, grâce aux matériaux trouvés sur les rives du

fleuve Usumacinta et aux connaissances accumulées par les artisans pour choisir, extraire et mélanger les différents types de sédiments. Ils ont développé ainsi des méthodes pour fabriquer avec une grande habileté des récipients, des assiettes, des bols et d'autres ustensiles uniques à cette région (figure 6-4).

→ POUR EN SAVOIR PLUS

- Cabadas-Báez, H., Solís Castillo, B., Teranishi Castillo, K., Solleiro Rebolledo, E., Liendo Stuardo, R., Komeychik, O., & Sedov, S. (2017). Reworked volcanoclastic deposits from the Usumacinta river, Mexico: a serendipitous source of volcanic glass in Maya ceramics. *Geoarchaeology*, 00, 1-18.
- Kita, Y., Teranishi, K., & Rebolledo-Franco, N. (2017). Las arquitecturas de tierra en los trópicos húmedos de México. Tradiciones diversas. En J. H. Erquicia & S. Shibata (Eds.), *Estudios de arqueología: México y Centroamérica*, (pp. 113-134). San Salvador: Dirección de Publicaciones e Impresos, Secretaría de Cultura del Gobierno de El Salvador.
- Solís Castillo, B., Solleiro Rebolledo, E., Sedov, S., Liendo, R., Ortiz Pérez, M. A., & López Rivera, S. (2013). Paleoenvironment and human occupation in the Maya lowlands of the Usumacinta River, Mexico. *Geoarchaeology*, 28, 268-288.

7 Quels sont les usages actuels des sédiments ?

Anne Rivière-Honegger, CNRS - UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, France

Hans van der Wal, Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur, Tabasco, Mexique

Ana González Besteiro, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 - EVS, France

Ulises Rodríguez Robles, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Mexique

Les usages liés aux sédiments du fleuve Usumacinta dans l'État de Tabasco (Mexique) sont aujourd'hui : l'extraction directe, artisanale ou plus ponctuellement industrielle, la fertilisation des sols pour l'agriculture familiale, l'élevage ou l'exploitation forestière et l'usage récréatif des plages fluviales de sable. Les sédiments (sable, graviers, galets ou limon) sont dénommés localement « matériaux pierreux ou de construction ».

L'extraction des sédiments : une activité locale majoritairement artisanale et jugée durable

La richesse des ressources naturelles du bassin versant de l'Usumacinta s'oppose à la pauvreté des populations riveraines – pour l'essentiel rurales – et organisées autour d'activités agricoles (culture du maïs, élevage), sylvoicoles ou piscicoles (Gandin, 2015). Le climat tropical, qui entraîne une irrégularité saisonnière du débit du fleuve et en saison des pluies (mai-novembre) des crues récurrentes, est un facteur majeur de la gestion des ressources naturelles par les communautés locales. C'est un territoire sous tensions de par sa situation frontalière (De Palacio, 2010). Dans ce contexte, l'exploitation des sédiments commencée dans les années 1970 fait figure d'activité économique stable à l'échelle locale. L'exploitation artisanale est considérée comme « très bien auto-organisée ». Elle s'effectue officiellement au sein de coopératives fondées par les riverains proches des bancs de sable. Une autorisation de la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) est requise. Une activité informelle est aussi observée. L'extraction des sédiments du fond du fleuve et sur quelques plages restant à découvert lors des basses eaux s'effectue de manière artisanale de novembre à mai.

On distingue plusieurs métiers associés à cette exploitation. En premier lieu, interviennent les *barqueros*. Ce sont eux qui conduisent la barque jusqu'au banc de sable, plongent dans les eaux du fleuve avec un seau et remontent en surface avec le seau rempli de sédiments (figure 7.1 a). Le remplissage de la barque se fait au rythme des plongées et des remontées. Une fois pleine,

celle-ci est conduite jusqu'à la berge, où des systèmes ingénieux avec un câble, une poulie et un moteur de moto (figure 7.1 b), aident à remonter le matériau sur la rive. Il est alors stocké devant la maison de l'exploitant puis vendu aux entrepreneurs ou aux particuliers. C'est à partir de là, que les *paleros* interviennent (figure 7.1 c). Ils ont la charge de remplir à la pelle les camions ou les véhicules des clients de gravier ou de sable. *Barqueros* et *paleros* ne font pas partie de la coopérative. Ils travaillent à façon en fonction de la demande de matériau. Un troisième métier complète la filière : les *camioneros*, souvent propriétaires de leur camion, qui assurent le transport entre le site de stockage et le lieu de livraison généralement en ville.

Le matériau extrait du fleuve est utilisé localement. La majeure partie est achetée par la municipalité aux coopératives, le reste par des entrepreneurs. C'est un matériau « noble » pour les constructeurs au regard d'autres matériaux comme ceux extraits dans des gravières des terrasses quaternaires du fleuve Usumacinta.

Seuls les galets sont exportés vers d'autres États mexicains (Mérida ou Cancún principalement). Ils sont classés par couleur et conditionnés en sachets pour la vente. Ils servent notamment pour la décoration des constructions dans les zones touristiques de la péninsule du Yucatán. Les femmes participent sans rétribution à leur tri.

Ce type d'exploitation est considéré – mais sans que leurs impacts environnementaux ne soient mesurés – par les autorités municipales et les populations locales comme durable parce que la quantité de matériaux extraite est jugée insignifiante par rapport à la quantité

de matériaux que le fleuve charrie à chaque inondation annuelle : « *Il y en a pour tout le monde et ça ne finit pas. Quand il y a les inondations, il y a du matériau qui revient* », (un riverain exploitant, avril 2018). La quantité de sédiments exploitée suffit aux besoins actuels pour la construction.

■ Les sédiments comme préparateurs de sols pour l'agriculture, l'élevage bovin et l'exploitation forestière

Les sols des plaines du bassin de l'Usumacinta sont surtout des sols alluviaux, c'est-à-dire déposés par le

fleuve le long de ses lits mouvants. Alors que le fleuve s'écoule, depuis les parties amont du bassin jusqu'au Cañon de l'Usumacinta où il pénètre dans les plaines, un paysage se dessine peu à peu avec des différences minimales dans la topographie. Le long du fleuve, des levées se forment, légèrement plus hautes que les terres limitrophes. Ce ne sont pas seulement des sites de culture, mais aussi des sites d'implantation d'habitations précaires avec de petits jardins familiaux, où les familles vivent de la pêche et de diverses agricultures, que ce soit pour la consommation domestique ou pour la vente le long des routes. Plus éloignée du



a

Figure 7.1 a, b et c : Les métiers de l'exploitation des sédiments, avril 2019. © A. Rivière-Honegger



b



c

7

fleuve, l'agriculture mécanisée à grande échelle produit du sorgho, du riz, de l'huile de palme et fait de l'élevage bovin. Elle est pratiquée sur de vastes étendues de pâturages vallonnés, entourant de petites parcelles de terres dédiées à l'agriculture familiale, des zones avec des espèces ligneuses comme le *tinto* (*Haematoxylum campechianum*), des lacs et de vastes zones humides.

La dynamique du fleuve inclut des inondations annuelles, causées par la combinaison de débordements du lit du fleuve et de l'élévation du niveau phréatique dans les plaines alluviales. L'eau transporte les nutriments organiques et inorganiques dissous et les sédiments vers les champs agricoles, préservant ainsi la stabilité chimique globale du sol. L'eau se répartit de manière variable, en fonction de la micro-topographie et de la texture du sol. Dans les parties les plus hautes du paysage fluvial, il n'y a pas de dépôts de sédiments, ni d'apports en nutriments. À l'inverse, dans les parties les plus basses, il y a un enrichissement considérable au fur et à mesure que l'eau se retire, à la fois en nutriments et en sédiments dans les zones les plus proches du fleuve où les sables se déposent en premier (ils sont plus lourds) puis, plus loin, sous forme de petites particules d'argile (figure 7.2).

Par conséquent, le fleuve assure la fertilité des sols, façonnant un contexte naturel inégal pour des activités primaires (l'agriculture et l'approvisionnement de pâturage pour l'élevage bovin).

C'est l'agriculture familiale qui profite le plus facilement des caractéristiques différenciées du contexte naturel pour la production primaire. Combinant la production pour l'autosuffisance et la vente, la production primaire se concentre sur un ensemble varié de produits et tente d'optimiser les conditions que la nature fournit à travers une connaissance précise de l'agriculture. Cette forme d'agriculture combine au mieux, des stratégies de gestion nombreuses et diverses. Par exemple, le bois est collecté sur les *tintales*, en coupant les branches de façon à ce que les arbres puissent repousser en douceur ; les poissons, crustacés et mollusques sont extraits des zones basses lorsque l'eau se retire. Les sédiments sont aussi utilisés pour fertiliser de petites parcelles de terre. En matière de fertilité des terres, les sédiments peuvent avoir une double fonction. D'une part, leur application modifie de façon intrinsèque la texture des sols en intégrant des éléments, améliorant ainsi leur capacité à retenir l'eau et les nutriments, ou en augmentant la fertilité par les nutriments qu'ils contiennent. D'autre part, les sédiments transportent des agents biologiques, tels que les mycorhizes. Il s'agit de champignons qui pénètrent dans les racines des plantes, bénéficiant du produit de la photosynthèse des plantes et leur fournissant de l'eau et des nutriments. À travers cette symbiose, les plantes augmentent leur résistance à la sécheresse et montrent une plus grande force physiologique, renforcée par une augmentation parallèle de l'absorption des



Figure 7.2 : Cultures de maïs avec dépôt de sédiments (nutriments organiques et non organiques), novembre 2018, Tenosique.
© H. van der Wal



Figure 7.3 : Un usage récréatif du fleuve, avril 2019, Boca del Cerro.
© A. G. Besteiro

nutriments, en particulier du phosphore qui, en général, n'est disponible qu'en faible quantité dans les sols tropicaux.

■ Le sable des plages fluviales, un usage récréatif pour les habitants

Les plages fluviales que laissent les eaux du fleuve Usumacinta en période sèche (mai à octobre) durant laquelle la température peut atteindre 45 °C favorisent un usage récréatif. La baignade, source de fraîcheur et

de moments de détente pour les familles et les jeunes (figure 7.3), est la principale activité aquatique pratiquée notamment entre la ville de Tenosique et Boca del Cerro, dont le pont construit en 1950 marque l'entrée du Bas Usumacinta et d'une Réserve écologique.

La qualité de l'eau de baignade est considérée comme bonne et pourrait devenir un élément de développement touristique. La municipalité de Tenosique encadre et surveille la baignade à travers son système de Protection Civile en lien avec celle de l'État de Tabasco.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Trois types d'usages liés aux sédiments du fleuve Usumacinta dans l'État de Tabasco (Mexique) dominant aujourd'hui : l'extraction directe, artisanale ou industrielle, pour leur commercialisation essentiellement comme matériau de construction, la fertilisation des sols pour l'agriculture familiale, l'élevage ou l'exploitation forestière et l'usage récréatif des plages fluviales de sable. Ils renvoient à des pratiques locales diversifiées et originales. Leurs impacts en matière environnementale dans les systèmes socio-écologiques et leur gouvernance restent à mesurer.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- **Besteiro, A.G., & Rivière-Honegger, A.** (2021). Tensiones ambientales, representaciones sociales y frontera de la conservación. El río Usumacinta en Tabasco (México). En M. Tapia Gómez, Y. Pérez Guilarte, & F. J. Jover Martí, *América Latina : repercusiones espaciales de la crisis política* (pp. 55-71). Asociación Española de Geografía. http://www.ageal.es/ageal/resources/source/Informes_publicaciones/10008%20libro%20con%20cubierta.pdf
- **Gandin, J.** (2015). Stratégies de développement communautaire à l'échelle du bassin versant transfrontalier de l'Usumacinta (Mexique et Guatemala). En M. N. LeBlanc & S. Bernard (Dirs.), *Développement international, mouvements sociaux et innovations dans les Suds* (pp. 11-27). Les cahiers du CIRDIS, Canada. https://www.academia.edu/19168198/Strat%C3%A9gies_de_d%C3%A9veloppement_communautaire_%C3%AO_I%C3%A9chelle_du_bassin_versant_transfrontalier_de_lUsumacinta_Mexique_et_Guatemala
- **De Palacio, A.** (2010). Le projet hydroélectrique de Tenosique (Mexique-Guatemala) : barrage global et gouvernance locale, quelles perspectives ? *Vertigo*, (Hors-série 7). <https://doi.org/10.4000/vertigo.9688>

8

Quelle est l'organisation sociale autour de l'extraction des sédiments dans le bassin versant du fleuve Usumacinta ?

Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique

Víctor Gallardo Zavaleta, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El Colegio de Michoacán, Mexique

Luzma F. Nava, Conacyt-Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C., Mexique

L'extraction de sédiments dans le bassin versant du fleuve Usumacinta est une activité réalisée dans son chenal principal, dans les puissants courants de ses affluents, les fleuves Lacantún, Santo Domingo, Chajul et Chixoy, principaux sites d'extraction au Mexique et au Guatemala. Les « sédiments » – un nom qui n'est pas connu localement – sont généralement extraits à l'intérieur du lit du fleuve, à des profondeurs allant généralement d'un à neuf mètres ; selon les habitants, cela garantit une qualité optimale en raison de la présence d'argile.

L'extraction est une action saisonnière réalisable lorsque les eaux sont basses pendant la saison sèche. Cette activité présente une grande diversité dans les techniques utilisées, dans les acteurs impliqués et dans leurs formes d'organisation sociale, non seulement parce qu'elle répond aux conditions climatiques et géomorphologiques, mais aussi aux caractéristiques sociales, politiques et historiques des peuplements et aux transformations du bassin versant.

■ L'extraction des sédiments, une activité multiforme

En termes de technologies et de points de départ historiques, l'extraction de sédiments est très diverse dans

le bassin versant du fleuve Usumacinta (figure 8.1). Les sabliers, les pêcheurs ou les plongeurs collectent et extraient principalement du sable et du gravier. Il s'agit d'une activité masculine, même si, selon le moment de la chaîne d'extraction, des femmes ou des jeunes, garçons ou filles, peuvent intervenir comme « aides » pour certaines tâches qui n'impliquent pas de manœuvres dans le lit du fleuve.

Il existe une différence très importante entre l'extraction industrielle caractéristique de la partie inférieure du bassin versant dans l'État de Tabasco – avec une préférence marquée pour les sables, ressource très demandée – et l'extraction artisanale réalisée par des colons regroupés de différentes manières dans la partie moyenne et



L'EJIDO est une forme de tenure de la terre issue de la révolution mexicaine de 1910 qui a articulé une organisation sociale fondée sur des droits agraires. Autrefois usufuit de la terre garanti aux titulaires de ces droits appelés ejidatarios, traditionnellement les fils aînés qui héritaient de leur père, une réforme constitutionnelle l'a converti en propriété privée de telle manière qu'actuellement on trouve diverses situations juridiques concernant les ejidos au Mexique.

Figure 8.1 : Extraction artisanale de sédiments dans le fleuve Usumacinta. © E. Kauffer, avril 2018

supérieure du bassin versant. Les disparités technologiques sont abyssales entre les deux modalités, même lorsque l'extraction est effectuée dans la même localité, ce qui se traduit par une différence significative des volumes d'extraction. Chaque site a ses propres caractéristiques de fonctionnement, qui répondent aux normes du droit positif et aux règles locales, à la destination des sédiments et à leurs caractéristiques physiques, aux conditions du lit et des berges du fleuve. Les sites d'extraction et le type de sédiments extraits montrent une importante diversité en fonction de leur localisation dans le bassin et de la localité considérée. Les îles, les berges fluviales ou sous-marines, les plages et même les lagons sont les principaux lieux pour ces activités.

L'extraction de sédiments que l'on peut observer aujourd'hui a commencé entre les années 1950 et le début du ^{xxi}^e siècle, parfois à la suite d'une demande extérieure provoquée par la construction d'un projet de travaux publics, notamment pour la communication terrestre.

■ Les acteurs de l'extraction : une mosaïque de formes organisationnelles

Les recherches sur 13 sites ont permis d'identifier une variété d'acteurs impliqués tout au long de la chaîne d'extraction organisée autour de différentes phases : extraction, stockage, commercialisation ou échange, transport, transformation, utilisateur final. Nous avons trouvé des individus, des acteurs collectifs engagés dans l'activité et des institutions locales. Selon le site, certains d'entre eux, comme les opérateurs de machines ou les entreprises, ne participent qu'à une partie du processus (figure 8.2). Les acteurs les plus présents tout au long de la chaîne d'extraction sont les habitants locaux, les *ejidatarios*, titulaires des droits d'usufruit ou de propriété de la terre, et l'*ejido* lui-même en tant que forme d'organisation sociale.

Dans certains endroits, il existe des coopératives formées pour l'extraction et dans d'autres, des syndicats de transport. Les instances gouvernementales sont rarement présentes sur place et apparaissent seulement dans 30 % des sites étudiés, à l'exception des municipalités plus proches, alors que les références à la Commission nationale de l'eau figurent dans 37 % des sites dans le cadre de la délivrance des titres de concession. Les instruments formels d'extraction et d'organisation sont peu représentés (entre 15 % et 23 % des sites) ; les règles locales abondent et déterminent de nombreuses activités, de même qu'une grande diversité de pratiques informelles. L'extraction de sédiments n'est pas perçue comme une activité qui affecte les cours d'eau et le bas-



Figure 8.2 : Site d'extraction de sédiments industriels dans le bassin versant du fleuve Usumacinta.
© E. Kauffer, avril 2018

sin versant à moyen et long termes car les populations apprécient une régénération saisonnière constante des sédiments.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

L'extraction de sédiments – sables et graviers – dans le bassin versant du fleuve Usumacinta est une activité masculine, principalement artisanale, destinée essentiellement à un usage local. L'activité est réglementée par des normes locales en confluence avec les pratiques formelles et informelles.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- **Kauffer, E. (2020).** Le fleuve Usumacinta, les sédiments et le politique. [Podcast]. En *Rue 89 Lyon*. <https://bit.ly/3Hh07RE>
- **Kauffer, E. (2020).** Les sédiments du bassin transfrontalier du fleuve Usumacinta. Analyse politique d'une ressource naturelle et économique. *H2O'Lyon*, le 15 octobre 2020. <https://bit.ly/3qBVHPd>
- **Kauffer, E. (2021).** Fishermen, sand divers and miners of the Usumacinta. A journey along the riverbanks in Southern Mexico. *H2O'Lyon*, 2 février 2021. [Webinar]. <https://bit.ly/3wMdnJm>

Qui réglemente l'usage des sédiments ?

Gaëtan Bailly, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, France

La question de la réglementation des usages d'une ressource naturelle comme les sédiments implique d'analyser le cadre juridique applicable. Son étude permet de connaître l'objet précis de la réglementation et surtout les personnes et les autorités compétentes pour réguler l'usage de la ressource.

Comment la loi appréhende-t-elle les sédiments ?

Les sédiments ne sont pas définis comme tels par le droit mexicain. La loi sur les eaux nationales (LAN) du 1^{er} décembre 1992 mentionne uniquement les minéraux des fleuves dont l'extraction est sujette à une autorisation administrative. Implicitement, cette disposition législative s'applique aux sédiments. Cependant, la LAN mentionne les matériaux pierreux (*materiales pétreos*), on peut donc en déduire que cette qualification juridique s'applique aux sédiments. Ces matériaux pierreux sont considérés par la loi comme des « biens nationaux ». Ces biens nationaux que décrit la LAN se trouvent dans les principaux fleuves mexicains et sont considérés comme propriété nationale, ils relèvent donc de l'État fédéral. Le fleuve Usumacinta est l'un d'entre eux. Ainsi, l'exécutif fédéral possède une compétence de principe pour organiser la gestion et la protection de ces objets : la Constitution et la loi fédérale protègent les sédiments, et le gouvernement contrôle leur exploitation à travers un régime juridique restrictif. Mais rappelons que le Mexique est une fédération constituée de différentes échelles d'action publique :

fédérale, étatique et communale, et que l'exécutif fédéral n'est donc pas le seul acteur de la réglementation de l'usage des sédiments (figure 9.1).

Une gestion publique complexe des eaux et des sédiments

L'État mexicain ayant une organisation fédérale composée de différents niveaux de législation, il est nécessaire d'analyser les compétences qui peuvent avoir un impact juridique sur la gestion de l'eau et des sédiments.

L'article 27 de la Constitution Politique des États-Unis Mexicains de 1917 précise que la maîtrise des eaux nationales appartient à la Nation, et que le pouvoir exécutif fédéral dispose de la compétence pour les gérer et les protéger. De plus, il identifie un domaine public spécifique. En effet, en théorie, l'exécutif exerce un contrôle administratif sur l'exploitation des sédiments dans les eaux nationales par le biais de la Commission Nationale de l'Eau (Conagua), un organisme décentralisé du Secrétariat à l'Environnement et aux Ressources Naturelles. Concrètement, la Conagua émet les autorisations pour extraire les minéraux et organise des travaux ou ouvrages publics importants sur les cours d'eau, bien que la gestion des eaux nationales et des principaux fleuves du Mexique nécessite une organisation spécifique et adaptée à chaque contexte local.

En application de la LAN, l'organisation de la gestion de l'eau s'effectue à l'échelle des bassins hydrographiques, à partir d'un modèle décentralisé qui dépend principalement de la compétence des Conseils de Bassin tout comme de celle des organismes en charge des bassins. Ces instances sont des unités techniques et administratives et des entités juridiques spécialisées dans le bassin hydrographique ou le regroupement de bassins, qui exercent une autorité dans la gestion intégrée des ressources hydriques, y compris de l'administration des eaux nationales et de leurs biens publics inhérents. Le Conseil de Bassin est une instance de coordination et de concertation entre la Conagua, les autorités



Figure 9.1 : Accès au fleuve pour extraire les sédiments, © E. Kauffer.



Figure 9.2 : Ejidos, © G. Bailly.

publiques locales, les usagers et les acteurs locaux. La législation mexicaine sur l'eau fait l'objet d'une décentralisation importante, même si, en théorie, la Conagua et les Organismes de Bassins sont les organismes publics de référence en matière de réglementation de l'usage de l'eau et des sédiments.

Néanmoins, les États fédérés disposent de certains pouvoirs résiduels pour réglementer les usages des ressources environnementales. Par exemple, il existe une loi des usages de l'eau de l'État du Tabasco particulièrement ambitieuse, qui « a pour objectif de promouvoir la conservation, la restauration, le contrôle et la réglementation des eaux relevant de la juridiction de l'État ». Cette loi considère d'utilité publique d'une part, la protection, la conservation et la restauration des éléments naturels qui interviennent dans le cycle hydrologique et d'autre part, le développement, l'exploitation et l'utilisation rationnelle des ressources en eau. Comme les sédiments répondent à cette définition, ils doivent faire l'objet d'une préservation spéciale. L'application de cette législation aux eaux du fleuve Usumacinta induit un équilibre entre la protection et l'exploitation des ressources.

Enfin, les communes ont la possibilité d'établir des arrêtés généraux qui restreignent l'utilisation des ressources naturelles. Cependant, par manque de moyens, ces arrêtés ne sont pas strictement appliqués et la question se pose de l'efficacité de la loi en matière de réglementation de l'utilisation des sédiments.

■ L'action spontanée des communes locales sur l'usage des sédiments

D'un autre côté, l'organisation spontanée des acteurs impliqués dans l'extraction des sédiments fluviaux

montre la nécessité pratique d'une réglementation qui permette l'exploitation durable de ces minéraux et des autres composants de l'écosystème. En effet, les communautés locales qui vivent avec le fleuve sont organisées grâce à des sociétés coopératives, des *ejidos* ou des syndicats. Bien qu'elles ne soient pas destinées à cette fin, ces structures permettent implicitement de créer une gouvernance locale de l'exploitation des ressources fluviales. Malgré une structure bien définie, dans la pratique, les missions des coopératives sont très adaptables en fonction de chaque situation et de chaque réalité environnementale. Ainsi, les coopératives permettent d'obtenir des concessions de la Conagua pour exploiter collectivement les sédiments. En outre, au sein d'un *ejido*, d'une coopérative ou d'un syndicat, des accords et des arrangements contractuels ou informels peuvent conduire à une distribution équitable de l'exploitation des sédiments (figure 9.2).

Malgré l'existence d'un régime juridique très complexe en la matière, la réglementation de l'usage des sédiments semble être complétée par des règles locales et parfois informelles. Cette observation conduit au constat d'une certaine inadéquation du droit fédéral, et à la nécessaire implication des acteurs locaux pour assurer une régulation indépendante qui se base sur les pratiques et connaissances locales. Cette organisation locale et spontanée est alors mue par la recherche de l'efficacité et le pragmatisme.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

La réglementation de l'usage des sédiments se réalise en premier lieu avec l'application de la législation générale par les autorités publiques, spécialement par la Conagua. Cependant, le droit mexicain est très complexe, difficile à appliquer et les communautés locales qui vivent au bord du fleuve s'organisent de manière informelle afin de répartir le bénéfice de l'usage des sédiments.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- **Conagua**, <https://www.gob.mx/conagua>
- **García Lopez, T.** (2008). Las cuencas en el derecho ambiental mexicano. Instrumentos para su gestión integral. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 41(123).
- **Ugalde, V.** (2018). La coacción en la regulación ambiental en México. En V. Ugalde (Dir.), *El derecho ambiental en acción. Problemas de implementación, aplicación y cumplimiento* (pp. 83-120). México: El Colegio de México.

10 Pourquoi et comment valoriser les sédiments en tant que ressource naturelle ?

Daniel Levacher, ComUE Normandie Université, Unicaen, M2C UMR 6143 CNRS, France

Les sédiments constituent une ressource naturelle qui peut être valorisée (figure 10.1). Plusieurs filières de valorisation sont envisageables. Des précautions sont à prendre avant de s'engager.

Les sédiments : un mélange complexe d'éléments fins

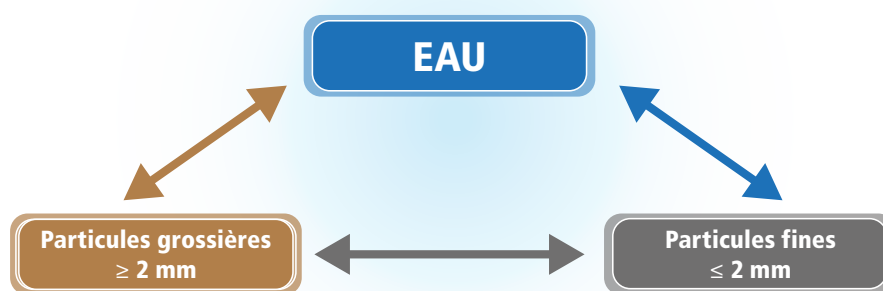
Les sédiments sont essentiellement composés d'argiles, de limons, de sables et de graviers. Loin des zones urbaines, la matière organique s'ajoute naturellement à ces éléments (figure 10.2). À proximité des zones ha-

bitées et agricoles, les eaux usées, les pesticides, les engrais, les micro-plastiques, contribuent à la pollution des sédiments. Les zones industrialisées accentuent cette contribution en contaminants : métaux lourds, PCB, HAP, TBT... La proximité de l'océan apporte du sel dans l'eau et les sédiments.

Figure 10.1 : Site d'extaction de sédiments à Jonuta, Tabasco. © E. Kauffer



Figure 10.2 : Composition élémentaire des sédiments. © D. Levacher



■ Comment gérer les sédiments en fonction des réglementations, de la taille des grains et de l'eau ?

La gestion des sédiments s'effectue en fonction du degré de contamination et des réglementations en vigueur dans chaque pays. Près des côtes, les sédiments portuaires sont le plus souvent immergés en mer. À terre, ils sont stockés temporairement avant d'être valorisés. Les sédiments qui ne sont pas recyclés ou ceux qui sont contaminés sont envoyés dans des centres de stockage dédiés aux déchets (figure 10.3).

■ Les sédiments constituent une ressource naturelle !

Les sédiments grossiers – graves, graviers, sables – sont une véritable ressource de granulats naturels. Les sédiments fins – argiles, limons, sables fins – extraits de leur eau représentent également une ressource minérale aux propriétés diverses. L'eau rend leur transport difficile et constitue un obstacle à la valorisation des sédiments.

Figure 10.3 : Contraintes de gestion des sédiments. © D. Levacher

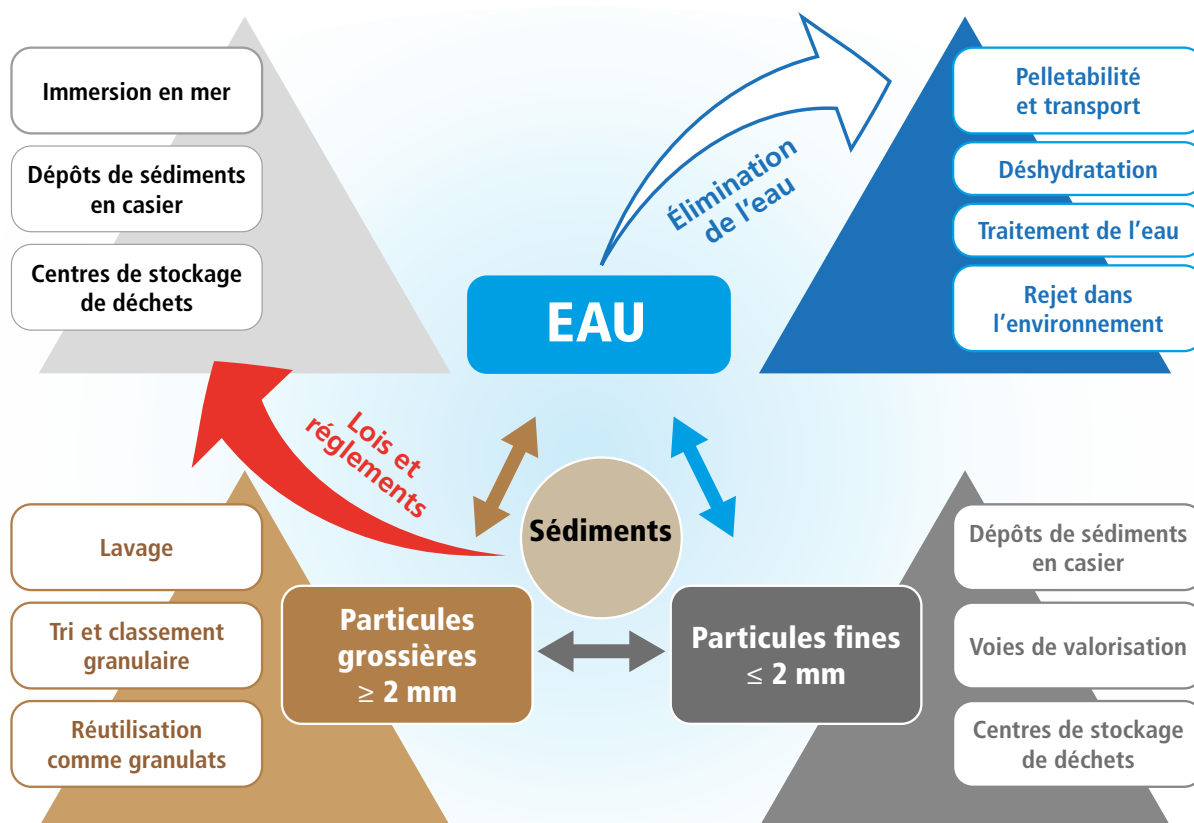
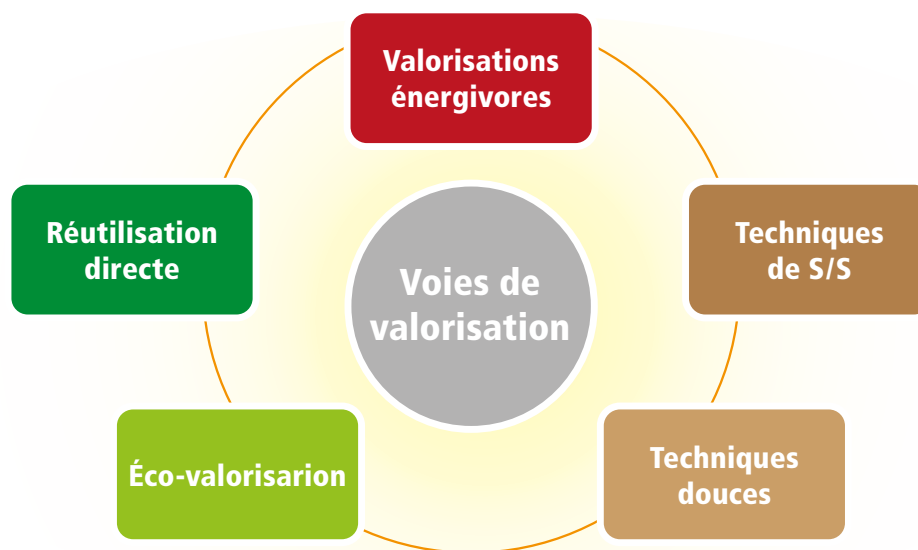


Figure 10.4 : Les techniques de valorisation des sédiments. © D. Levacher



■ Quelles techniques de valorisation des sédiments ?

Les voies de développement à privilégier sont celles qui intègrent le développement durable, l'économie circulaire et le caractère renouvelable des ressources. Le réemploi direct des sédiments, les techniques douces et d'éco-valorisation (recyclage de déchets et de sédiments) sont des pistes à retenir. Les techniques de solidification/stabilisation nécessitent l'utilisation de liants minéraux et d'additifs. Les liants à faible teneur en carbone doivent être préférés à l'ajout de ciment.

Les filières consommatrices d'énergie ne sont pas prioritaires (figure 10.4).

■ Un large panel de valorisations potentielles ?

La valorisation des sédiments sans aucun traitement concerne l'agronomie, l'aménagement du littoral et des rivières, la construction. Les matériaux à base de mélanges de sédiments et de déchets agricoles ou industriels sont possibles. L'ajout de liants aux sédiments permet également de fabriquer des matériaux. L'industrie de la céramique est un débouché possible pour les sédiments (figures 10.5 et 10.6).

Figure 10.5 a : Briques crues de sédiments de l'Usumacinta (Jonuta, Tabasco, Mexique) renforcées de fibres de palmier à huile. © D. Levacher



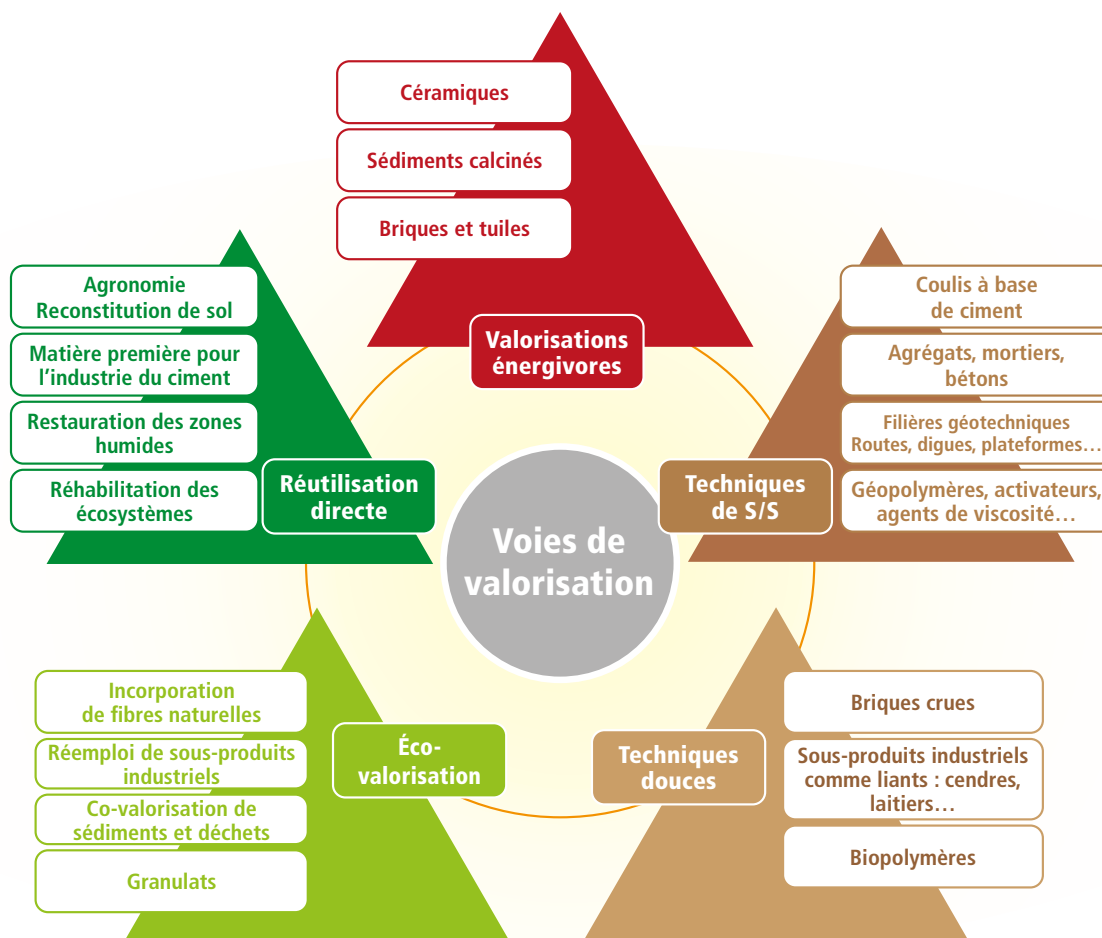
Figure 10.5 b : Chemin de briques cuites au sein du ranch San Roman, Palizada, Campeche, Mexique. © D. Levacher



■ **La caractérisation des sédiments est primordiale pour choisir les voies de valorisation**

Il faut être raisonnable pour limiter le coût des essais de caractérisation. Elle porte essentiellement sur les propriétés géotechniques, les analyses chimiques élémentaires, la minéralogie. Une évaluation environnementale est effectuée s'il existe des preuves de contamination des sédiments.

Figure 10.6 : Les filières de valorisation des sédiments. © D. Levacher



CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les sédiments constituent une ressource naturelle qui peut faire l'objet de différents types de débouchés. Leur caractérisation est essentielle pour sélectionner les voies possibles de valorisation. Les mises en application à privilégier sont celles qui s'inscrivent dans une démarche de développement durable.

➔ **POUR EN SAVOIR PLUS :**

- ▶ **Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., & Razakamanantsoa, A-R.** (2021). Influence of palm oil fibers length variation on mechanical properties of reinforced crude bricks. En S. Amziane & M. Sonebi (Eds.), *4th International Conference on Bio-Based Building Materials* (pp. 628-633). Barcelona, España. <https://drive.uca.fr/f/f3dc0400654f4a0495ce/?dl=1>
- ▶ **Liang, Y.** (2012). *Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres*. Ph.D Thesis, Université de Caen, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00731611>
- ▶ **Rakshith, S., & Singh, D. N.** (2016). Utilization of dredged sediments: contemporary issues. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 143(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000376](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000376)

Qu'est-ce que les observatoires socio-environnementaux ?

Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique

Ramón Zetina Tapia, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Ecosur Campeche, Mexique

Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique

Un observatoire réunit des individus et des organisations qui cherchent à analyser l'évolution d'une question, d'un processus politique, économique ou social, afin de le comprendre et d'éclairer l'opinion publique (Natal et Jiménez, 2014). Les observatoires permettent de rassembler des informations dispersées ou incompréhensibles sur un même sujet pour un large public.

Sur quelles bases légales reposent la conception et la mise en œuvre des observatoires au Mexique ?

Les observatoires fondent leur légitimité sur la Constitution, qui établit le droit à l'information (article 6), le droit de pétition (article 9) et le droit de participation à la planification démocratique (article 26). En outre, le développement des observatoires est motivé par les accords internationaux qui favorisent l'accès à l'information, la participation du public et l'accès à la justice environnementale, en particulier le principe 10 de la Déclaration de Rio (1992) et l'Accord d'Escazú de 2018 (observatoriop10.cepal.org).

Quelles sont les différentes fonctions des observatoires ?







Les observatoires visent à gérer, intégrer et transférer des informations, ainsi qu'à contribuer à la sensibilisation et à une compréhension plus solide d'une question (Liu *et al.* 2017). Certains observatoires visent également à intégrer la participation d'acteurs de différents secteurs et niveaux administratifs afin de promouvoir l'échange d'informations et de connaissances, de renforcer la capacité à développer des activités d'intérêt commun et d'induire la prise de décision en connaissance de cause. Enfin, il existe des observatoires ayant des positions proactives en matière de défense du territoire, orientés vers la gestion de l'information et la connaissance pour influencer la transformation de la société, notamment en ce qui concerne l'inégalité des relations de pouvoir et d'accès à l'information. Citons par exemple *Geocomunes* (geocomunes.org), *Cartocrítica* (cartocritica.org.mx) et *Conversando con Goliath* (observandoagoliat.com). En fonction de l'objectif des observatoires, les différentes modalités de participation des citoyens peuvent aller de la consul-

tation à l'action conjointe ou à l'accompagnement externe des actions locales. En outre, la participation des citoyens peut exister à différents stades du processus de production de connaissances : de l'identification de questions et d'intérêts communs à la définition de protocoles, en passant par la collecte et l'analyse de données, l'élaboration de conclusions, la diffusion des résultats et la prise en compte de nouvelles questions et de nouveaux objectifs (Bonney *et al.* 2009).

Quelles sont les fonctions spécifiques d'un observatoire socio-environnemental ?

L'un des objectifs des observatoires socio-environnementaux est le suivi, c'est-à-dire la mesure et l'enregistrement systématique d'une ressource ou d'un phénomène afin de rendre visible les changements dans l'espace et le temps (figure 11.1). Le suivi est une partie

Figure 11.1 : Les fonctions des observatoires socio-environnementaux. © C. Monzon Alvarado

| | | |
|---|------------------------|---|
|  | Monitoring | Monitoring pour la visibilité des questions socio-environnementales |
|  | Integration | Intégration des données pour améliorer l'accès à l'information |
|  | Sensibilisation | Sensibilisation du public, renforcement des capacités |
|  | Surveillance | Surveiller le respect des réglementations environnementales |
|  | Influence | Influencer la prise de décision et les politiques publiques |
|  | Défense | Défendre le territoire |

fondamentale de la gestion des ressources naturelles, car il permet de générer des connaissances de base pour identifier les modèles de changement de l'état des ressources. La détection de tendances conduit à l'analyse de leurs causes et à l'ajustement de la gestion. En d'autres termes, le suivi est un élément fondamental de la gestion adaptative et contribue à la prise de décision et à la formulation de politiques qui favorisent les trajectoires durables. La particularité des observatoires socio-environnementaux est qu'ils favorisent la surveillance socio-écologique, c'est-à-dire qu'ils intègrent des objectifs de surveillance d'intérêt écologique et social (figure 11.2). Cependant, à l'heure actuelle, les systèmes de surveillance axés sur les aspects biologiques et biophysiques prédominent et abordent rarement les aspects sociaux et procéduraux (Waylen et Blackstock 2017).

■ Quelles sont les composantes des observatoires socio-environnementaux ?

Pour intégrer les informations, les observatoires socio-environnementaux utilisent une variété d'outils. L'un d'eux est le système d'information géographique (SIG), qui offre de plus en plus de possibilités d'interaction avec les utilisateurs de l'information. Par exemple, la consultation en ligne, le téléchargement et même la création d'informations géographiques participatives par le biais d'applications web. En outre, les observatoires peuvent disposer de systèmes de métadonnées qui rendent visibles l'origine et l'existence d'informations clés. Ils peuvent également intégrer des dépôts d'informations documentaires et géographiques que les utilisateurs peuvent consulter et télécharger.

Un élément qui a influencé la multiplication des observatoires est le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC), d'autant que la population a de plus en plus accès à l'internet, aux équipements informatiques et aux smartphones. Il faut toutefois souligner le déficit d'accès aux TIC particulièrement important dans la population rurale. Selon l'enquête nationale sur la disponibilité et l'utilisation des technologies de l'information dans les ménages (ENDUTH), en 2019, 76,6 % de la population urbaine du Mexique avait accès à Internet, contrairement à 47,7 % de la population rurale. Cet écart est encore plus important dans les États du sud-est, comme le Chiapas, où seul un quart de la population rurale a accès à Internet (INEGI 2019). Cela pose des problèmes d'équité dans la conception des observatoires, d'où la nécessité de concevoir des mécanismes d'intégration des personnes et de transfert des informations qui ne soient pas exclusivement axés sur les médias numériques.

Figure 11.2 : Les observatoires mobilisent des personnes désireuses de comprendre les processus environnementaux et sociaux et de proposer des recommandations.
© G. Hernández Dzib



CE QU'IL FAUT RETENIR :

Les observatoires socio-environnementaux sont des plateformes qui permettent l'intégration de données et l'échange entre des individus et des groupes partageant un intérêt pour une question ou un problème qui sous-tend des interactions entre la société et la nature.

Le développement de technologies d'intégration de l'information contribue à rendre les données plus visibles et plus accessibles. En intégrant les informations existantes et en générant des informations pertinentes sur les aspects physiques, écologiques, économiques, sociaux et culturels, les observatoires socio-environnementaux contribuent à une prise de décision éclairée.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- ▶ Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T. B., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen Science: A Developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *Bioscience*, 59(11): 977-984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- ▶ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTH). México.
- ▶ Liu, H. Y., Grossberndt, S., & Kobernus, M. (2017). Citizen science and citizens' observatories: Trends, roles, challenges and development needs for science and environmental governance. En G. Foody, L. See, S. Fritz, P. Mooney, A.-M. Olteanu-Raimond, C. Fonte, & V. Antoniou (Eds.), *Mapping and the citizen sensor* (pp. 351-376). London: Ubiquity Press.
- ▶ Natal, A., & Díaz, O. (2014). ¿Qué son y cómo funcionan los observatorios ciudadanos? En F. Natal & A. Díaz (Coords.), *Observatorios ciudadanos: nuevas formas de participación de la sociedad* (pp. 21-51). México: UAM/Genrika.
- ▶ Waylen, K. A., & Blackstock, K. L. (2017). Monitoring for adaptive management or modernity: lessons from recent initiatives for holistic environmental management. *Environmental Policy and Governance*, 27(4), 311-324.

12 Pourquoi créer un Observatoire des sédiments dans le bassin versant de l'Usumacinta ?

Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, Mexique

Ramón Zetina Tapia, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Ecosur Campeche, Mexique

Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, Mexique

La région hydrologique du Grijalva-Usumacinta occupe 7% du territoire mexicain, et un tiers de l'eau totale du pays y circule (CONAGUA 2018). Outre l'eau, des tonnes de sédiments s'écoulent, c'est-à-dire des sables, des graviers et des argiles qui fournissent des nutriments, créent un habitat pour la flore et la faune, ainsi que de la matière première pour la construction d'infrastructures.

Il est fondamental de comprendre que l'eau et les sédiments sont des ressources essentielles à la vie sur la planète. Il faut pour cela améliorer notre compréhension du rôle des sédiments dans les bassins versants, et surtout comprendre l'état et les trajectoires de cette ressource et de ses processus physiques, écologiques et sociaux.

Les sédiments et la relation avec le bassin versant

Le transport des sédiments est un processus hydro-morphologique qui détermine les charges sédimentaires dans les écosystèmes. L'apport de sédiments joue un rôle fondamental dans la définition et le maintien de la morphologie des canaux fluviaux ainsi que des habitats associés (de Jalon *et al.* 2017). La relation entre le débit, l'apport de sédiments et le gradient d'un fleuve explique en grande partie la forme du chenal d'un fleuve, par exemple s'il est droit, sinueux, tressé ou anastomosé (Meitzen *et al.* 2013). Toutefois, outre les processus physiques et écosystémiques, les êtres humains jouent un rôle important dans la définition des paysages fluviaux en raison de leur relation avec les sédiments et de leur dépendance à leur égard. La comparaison de photographies de Balancán, Tabasco, prises en décembre 1984 et 2020 (figure 12.1 a et b), illustre des changements intéressants liés au flux de sédiments, à la morphologie du fleuve Usumacinta et à l'action humaine.

La comparaison des photos révèle en premier lieu l'expansion de la ville de Balancán (flèche verte). Selon les recensements de population, la ville a vu sa population

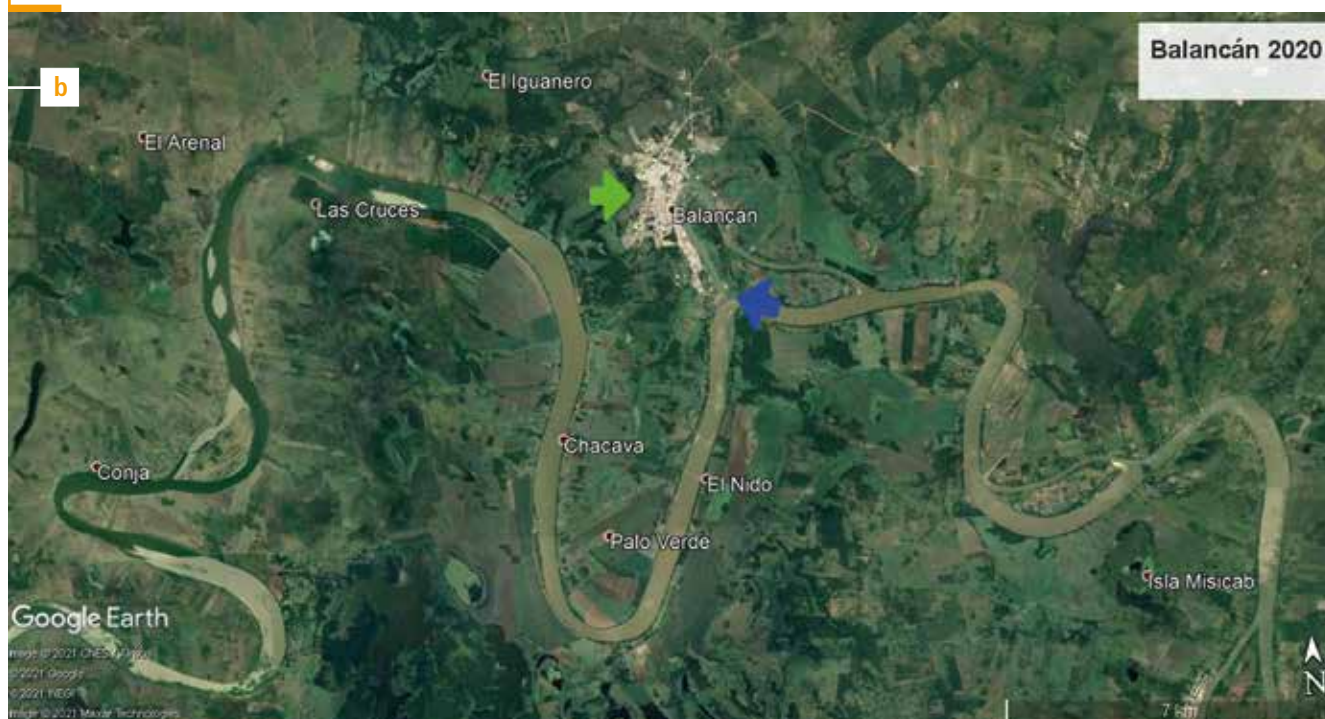
passer de 37 099 à 58 524 habitants au cours de cette période (INEGI 1980, 2020). L'expansion urbaine pour accueillir la population croissante s'est faite grâce au sable et au gravier (sédiments) extraits du fleuve. Cela peut être compris comme un service écosystémique d'approvisionnement : la nature fournit la matière première pour la construction de logements. Un autre changement notable se trouve dans la diminution du bras du fleuve Usumacinta qui touche la ville de Balancán (flèche bleue). En 1984, à son point le plus large, il mesurait environ 350 m, et ce même point en 2020 avait une largeur de 130 m, malgré le fait que 2020 ait été une année d'inondations extraordinaires. Ces changements résultent des interactions entre les processus physiques, écologiques et humains qui se traduisent sur le paysage fluvial.

L'Observatoire des sédiments, une plateforme intégrative de données pour comprendre les sédiments du bassin versant de l'Usumacinta

En réponse à la nécessité de mieux comprendre le rôle des sédiments dans les bassins versants et de mieux intégrer les parties prenantes dans leur gestion, l'Observatoire des sédiments du bassin du fleuve Usumacinta a été créé. Cette plateforme concentre, stocke et affiche des informations sur l'hydrologie, l'écologie, les activités socio-économiques et les réglementations liées aux sédiments dans le bassin versant (www.sedimentos-usumacinta.mx). Cette plateforme intègre des informations officielles, ainsi que celles générées par des chercheurs, des acteurs du secteur privé et de la société civile. Une partie des informations



Figures 12.1 : Comparaison de photos de 1984 et 2016 de Balancán, Tabasco. Source : Google Earth



peut être visualisée dans un système d'information géographique en ligne, ainsi qu'à travers un géocatalogue, qui rend visible l'existence de données relatives aux sédiments et au bassin versant. L'Observatoire, en tant qu'outil d'intégration des personnes et des informations, vise à contribuer à une planification axée sur le maintien des fonctions des écosystèmes et du bien-être humain associés aux sédiments.

Les dynamiques hydrologiques et sédimentaires dans la région du Grijalva-Usumacinta

Cette région hydrologique est d'importance nationale en ce qui concerne l'écoulement des eaux. En termes de transport des sédiments, la comparaison des deux systèmes associés aux fleuves Grijalva et Usumacinta est très intéressante. Quatre barrages interrompent le flux des sédiments sur le fleuve Grijalva, tandis que

le fleuve Usumacinta ne comprend qu'un seul barrage dans le bassin supérieur, sur la rivière Chixoy au Guatemala. Les interventions sur le Grijalva ont des répercussions sur l'évolution du littoral, étant donné la réduction de l'apport de sédiments du continent vers l'océan. Le contraste entre les bassins versants du Grijalva et de l'Usumacinta nous permet d'identifier les effets de la gestion d'un bassin versant sur la dynamique de l'eau, du sol et des sédiments, avec des conséquences importantes sur l'écologie et le bien-être de la population qui habite ces territoires.

■ L'Observatoire des sédiments de l'Usumacinta, une plateforme de suivi socio-environnemental des sédiments

L'un des objectifs des observatoires socio-environnementaux est de comprendre la dynamique du système grâce à un suivi socio-écosystémique. Pour définir un tel système, il est essentiel de comprendre le rôle des sédiments dans les interactions entre la société et la nature. Une façon d'aborder cette question est de reconnaître qu'il existe des processus et des fonctions des écosystèmes qui peuvent soit nuire, soit bénéficier à la société (Pahl Wostl 2015). Ceux qui sont perçus comme bénéfiques pour la société sont appelés « services écosystémiques », tandis que ceux qui sont perçus comme nuisibles ou problématiques pour la société sont appelés « dys-services » (Blanco *et al.* 2019). Sur la base de leurs connaissances, de leurs valeurs et de leurs préférences, les personnes prennent des décisions concernant les ressources naturelles. Qu'il s'agisse de décisions d'extraction, de conservation ou de restauration, ces ré-

ponses humaines affectent la capacité des écosystèmes à maintenir leurs fonctions. En d'autres termes, la relation humain-environnement se caractérise par ce que nous recevons de la nature (perçu comme bénéfique ou néfaste) mais aussi par les réponses et les décisions humaines qui amplifient souvent les problèmes, mais peuvent aussi contribuer à la récupération des fonctions de l'écosystème.

En ce sens, le suivi et l'intégration des données dans l'Observatoire des sédiments (figure 12.2) permettent de rassembler les preuves des impacts (positifs et négatifs) des êtres humains sur la nature, d'identifier les trajectoires dans le bassin versant et de détecter les situations souhaitables et indésirables. Sans surveillance et intégration des informations, il sera impossible d'identifier en temps utile les trajectoires qui conduisent à des situations irréversibles ou extrêmement coûteuses affectant la santé de l'écosystème et le bien-être humain. Des études telles que celle d'Esperanza Muñoz-Salinas et Miguel Castillo (2015), qui ont analysé les changements de la charge sédimentaire dans le bassin versant de l'Usumacinta, soulignent l'importance de générer des modèles permettant de comprendre la relation entre la déforestation et l'augmentation de la sédimentation. Cependant, malgré l'importance du ruissellement de l'eau et des sédiments dans le bassin versant, il n'y a que huit stations hydrométriques (CONAGUA 2018) qui enregistrent les décharges sédimentaires. Grâce à l'Observatoire des sédiments du bassin versant du fleuve Usumacinta, des collaborations peuvent être facilitées afin de générer des indices ou des modèles permettant d'étudier ces processus de manière intégrée.

Figure 12.2 : Portail de l'Observatoire des sédiments de l'Usumacinta (page d'accueil).



CE QU'IL FAUT RETENIR :

L'Observatoire des sédiments du bassin versant de l'Usumacinta intègre les informations et les parties prenantes dans l'étude, le suivi et la gestion des sédiments, ce qui nous permet d'identifier les changements dans leur qualité et leur flux, ainsi que de comprendre les effets de ces changements sur le bien-être humain. Nous souhaitons, grâce à la participation de différents organismes gouvernementaux, sociaux et universitaires, faire émerger des solutions innovantes et durables pour le bassin versant du fleuve Usumacinta.

→ POUR EN SAVOIR PLUS :

- ▶ **Blanco, J., Dendoncker, N., Barnaud, C., & Sirami, C.** (2019). Ecosystem disservices matter: Towards their systematic integration within ecosystem service research and policy. *Ecosystem Services*, (36), 100913. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100913>
- ▶ **Comisión Nacional del Agua (Conagua).** (2018). *Atlas del Agua en México 2018*. México: Semarnat.
- ▶ **García de Jalón, D., Bussettini, M., Rinaldi, M., Grant, G., Friberg, N., Cowx, I. G., Magdaleno, F., & Buijse, T.** (2017). Linking environmental flows to sediment dynamics. *Water Policy*, 19(2), 358-375.
- ▶ **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (1984). X Censo General de Población y Vivienda, 1980. México: INEGI.
- ▶ **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda, 2020. México: INEGI.
- ▶ **Meitzen, K. M., Doyle, M. W., Thoms, M. C., & Burns, C. E.** (2013). Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows. *Geomorphology*, (200), 143-154.
- ▶ **Muñoz-Salinas, E., & Castillo, M.** (2015). Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *Catena*, (127), 270-278
- ▶ **Pahl-Wostl, C.** (2015). *Water governance in the face of global change: From understanding to transformation*. Cham: Springer.
- ▶ **Waylen, K. A., & Blackstock, K. L.** (2017). Monitoring for Adaptive Management or Modernity: Lessons from recent initiatives for holistic environmental management. *Environmental Policy and Governance*, 27(4), 311-324.

Quel est le rôle – hier, aujourd’hui et demain – des sédiments dans le système socio-écologique de l’Usumacinta ?

Anne Rivière-Honegger, CNRS – UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, France

Oméya Desmazes, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, France

Afin de disposer d’une vue synthétique des faits marquants à même de contextualiser l’histoire des sédiments (tableau 13.1) dans celle plus large du bassin versant de l’Usumacinta, une frise éco-socio-systémique a été construite de manière collective autour de la question « Quel est le rôle – hier, aujourd’hui et demain – des sédiments dans le système socio-écologique de l’Usumacinta ? ». L’ambition, au vu de l’histoire longue, est d’avoir une capacité réflexive pour des futurs possibles. Comme il a pu être montré dans d’autres contextes « (...) la profondeur historique permet de trouver des réponses aux enjeux du présent et de se positionner par rapport à des futurs envisageables et/ou souhaitables (...) » (Davassee, 2015, p. 6).

La frise réalisée (figure 13.2) donne à voir la matérialité des environnements et leurs évolutions au travers, par exemple, des événements climatiques jugés majeurs par leurs incidences sur les sédiments ou encore relatifs aux questions de biodiversité et de pollution. Les pratiques sociales sont représentées par les éléments sur le contexte socio-politique, les usages des sédiments, les infrastructures, la législation sur l’eau et la question agraire, et la gouvernance du bassin. Cette frise favorise l’identification et la hiérarchisation des événements, des évolutions, des transitions, des ruptures, des permanences afin de reconstituer la trajectoire du fleuve. La frise est accompagnée d’un tableau explicatif (tableau 13.1) où chaque fait marquant est commenté alternativement par l’un des 18 chercheurs qui ont contribué à sa réalisation. Cet exercice a permis de décloisonner les champs de compétence et de confronter les savoirs de chaque discipline. Une réflexion transversale sur les perspectives matérielles ou/et immatérielles de valorisation des sédiments a ainsi pu être engagée.

Cette mise en perspective historique fait ressortir les évolutions au fil des siècles de la complexité des phénomènes en cause et de la relation des sociétés à leur environnement fluvial. Cet environnement s’affirme comme le lieu d’interactions riches entre des processus biophysiques et des pratiques sociales.

L’expertise produite interroge les effets concrets sur les processus environnementaux des stratégies territoriales

et des pratiques socio-spatiales, lesquelles sont soumises aux représentations sociales des acteurs et des habitants comme les enquêtes de terrain ont pu le montrer. Le constat est que la prise en charge de la gestion des sédiments de ce bassin transfrontalier s’opère à tous les niveaux territoriaux, du local au supra-national. Les incidences des choix sociétaux, notamment en termes de développement, de préservation et d’aménagement du territoire, apparaissent comme déterminants. Ainsi, les besoins en sédiments pour la construction du Pont Boca del Cerro au sud-ouest de la ville de Tenosique (Tabasco) en 1950 ont-ils initié l’intensification de leur exploitation artisanale. La construction, sur 1 500 km entre Palenque et Cancun, du train Maya, annoncée en 2018 par le Président du Mexique fait aujourd’hui débat alors que les travaux prévus commencent. Seront-ils vecteurs d’un accroissement des prélèvements des sédiments de l’Usumacinta et de l’industrialisation de leur extraction ? Toute la gestion actuelle et les interactions entre les habitants et le bassin en seraient alors remises en cause. Aussi, il est fondamental que la recherche sur le bassin versant de l’Usumacinta soit non seulement productrice de connaissances, mais soit aussi impliquée : les chercheurs doivent accompagner les changements en produisant des connaissances relatives aux transformations en cours. Pour cela, le défi est de co-construire les objets de recherche avec les acteurs et les riverains du fleuve en intégrant leurs attentes et leurs sensibilités. L’objectif partagé est celui d’établir les termes d’une action renouvelée pour une gestion à la fois durable et concertée de l’éco-socio-système fluvial et des sédiments (UNEP, 2019).

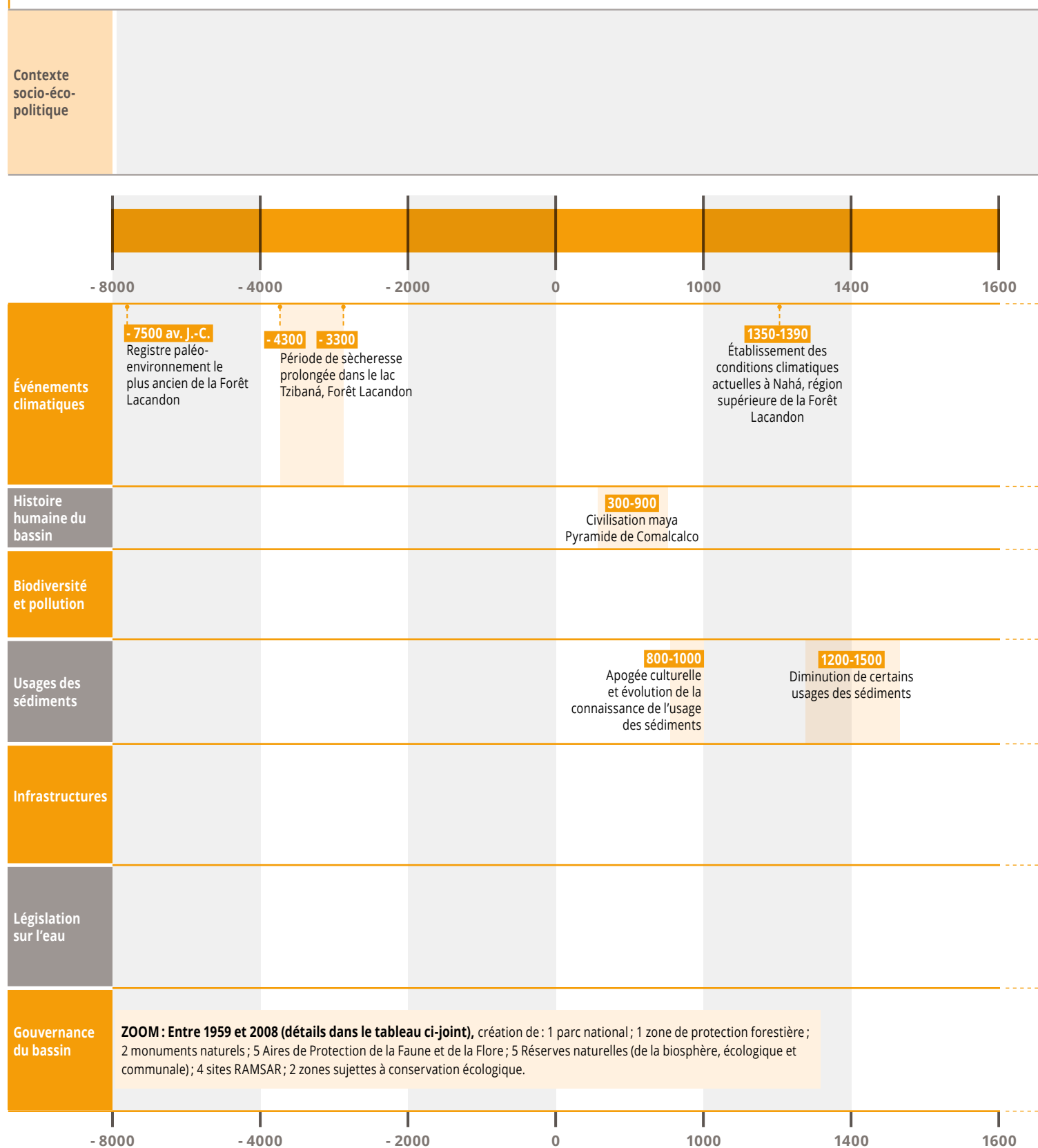
→ POUR EN SAVOIR PLUS :

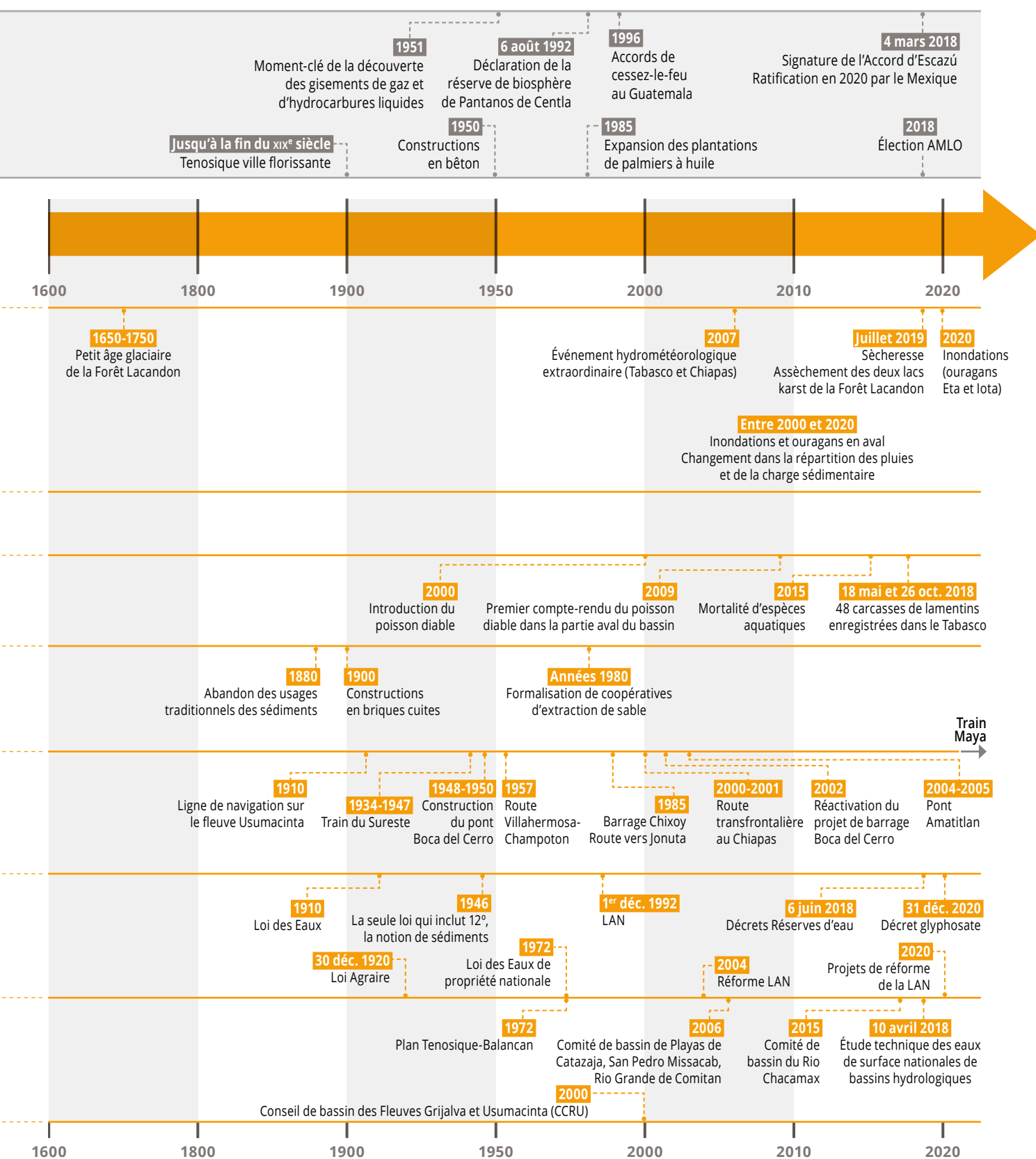
- ▶ **Davassee, B.** (2015). *La trace des temps. Les complexes socioécologiques au prisme du paysage. Pour une géographie de l’environnement impliquée.* Géographie. Université de Toulouse Jean-Jaurès. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01187651>
- ▶ **UNEP.** (2019). *Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources.* GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland. <https://www.unepgrid.ch/>

Tableau 13.1 : L'histoire des sédiments dans le bassin-versant de l'Usumacinta (extrait).

| DATES | EXPLICATIONS |
|--|--|
| 12 décembre 1959. Parc National Lagunas de Montebello | |
| 12 janvier 1978. Réserve de la Biosphère Montes Azules | La réserve comprend 331 200 ha de forêt sempervirente haute, de forêt moyenne, de forêt de pins et de chênes, de forêt mésophylle de montagne, de forêt riveraine, de jimbals et de savanes protégés au Chiapas. |
| 12 janvier 1978. Zone de protection forestière du bassin supérieur du fleuve Usumacinta et du bassin du fleuve Tulijá | |
| 6 août 1992. Réserve de la Biosphère Pantanos de Centla | Ce plan de gestion définit les objectifs de conservation de la zone et propose une organisation particulière des ressources dans les zones centrales, les zones tampons, les zones de développement rural, les zones d'utilisation publique, les zones d'utilisation spéciale et les zones culturelles. Il contient également un examen approfondi de la flore, de la faune, des espèces menacées ou en voie de disparition, des aspects juridiques du régime foncier et un examen des pratiques d'utilisation pour le développement des activités agricoles, d'élevage et de pêche (Lopez-Hernandez, E., 2006). |
| 21 août 1992. Aire de protection de la faune et de la flore Chan-Kin | |
| 21 août 1992. Monument naturel Yaxchilán | |
| 21 août 1992. Monument Naturel Bonampak | La protection couvre 4,357 ha de forêt haute à feuilles persistentes à Ocosingo, Chiapas. |
| 21 août 1992. Réserve de la Biosphère Lacan-Tun | |
| 6 juillet 1994. Aire de protection de la Faune et de la Flore Laguna de Términos | La zone de protection de Campeche comprend une importante zone humide d'une superficie de 705 017 ha, dont 50 000 ha correspondent au bassin de l'Usumacinta. |
| 22 juin 1995. Réserve de Biosphère Pantanos de Centla désignée site RAMSAR | Site RAMSAR 733 |
| 23 septembre 1998. Aire de Protection de la Faune et de la Flore Metzabok | La forêt sempervirente haute et la forêt d'épines sont protégées dans une zone de 3 368 ha à Ocosingo, Chiapas. |
| 23 septembre 1998. Aire de protection de la faune et de la flore Nahá | Une zone de 3 847 ha est établie pour la protection de la forêt sempervirente haute, de la forêt mésophile de montagne et de la forêt de conifères à Ocosingo, Chiapas. |
| 23 novembre 2002. Réserve écologique Cascadas del Reforma | Une zone de 5 748,35 ha de jungle de taille moyenne et de forêt de mangrove est protégée à Balancán, Tabasco. |
| 27 novembre 2003. Parc National Lagunas de Montebello désigné site RAMSAR | Site RAMSAR 1325 |
| 2 février 2004. Aire de Protection de la Faune et de la Flore Laguna de Términos désignée site RAMSAR | Site RAMSAR 1356 |
| 2 février 2004. Aire de Protection de la Faune et de la Flore de Nahá y Metzabok désignée site RAMSAR | Site RAMSAR 1331 |
| 15 juin 2005. Réserve communale Sierra la Cojolita | Une zone de protection de 2 000 ha est créée à Ocosingo, au Chiapas. |
| 3 novembre 2006. Zone sujette à Conservation Ecologique des Zones Humides La Libertad | Les systèmes de zones humides sont protégés dans une zone de 5 432,37 ha à La Libertad, Chiapas. |
| 3 novembre 2006. Zone sujette au système de conservation écologique des lagunes de Catazajá | |
| 22 septembre 2008. Aire de protection de la faune et de la flore du Cañon de l'Usumacinta | |

Figure 13.2 : Frise éco-socio-systémique de l'histoire des sédiments dans le bassin versant de l'Usumacinta.





Conception : Anne Honegger et Oméya Desmazes

Contributeurs : Gaëtan Bailly, Matthias Bücker, Pierre Charruau, Irini Djeran-Maigre, Ana González Besteiro, Victor Gallardo Zavaleta, Edith Kauffer, Daniel Levacher, Andrea López Escamilla, Rodrigo Martínez-Abarca, Lucile Medina, Isabelle Michallet, Claudia Monzón Alvarado, Gabriela Nava Hernandez, Liseth Pérez, Andry Rico Razakamanantsoa.

Design et réalisation : Toufik Boumessaoud / www.ideogram.fr

Crédit photo de la couverture : © Ramón Zetina Tapia

Impression : INSA Lyon – Mars 2022

N° ISBN : 978-2-917199-11-49782917199114

Les sédiments de l'Usumacinta, que les habitants appellent « sable », « cailloux » ou « pierres », sont composés d'argile, de limon, de boue et de gravier. Essentiels à l'écosystème fluvial, ils abritent une vie secrète et participent à la dynamique du fleuve. Ces sédiments ont été extraits et travaillés depuis des temps immémoriaux pour la production de poteries, l'amélioration des sols ou comme matériau de construction. Les sociétés se sont développées et se sont nourries grâce aux sédiments, mais avec l'expansion des activités humaines et la transformation des écosystèmes, la production, le transport et l'accumulation des sédiments ont été modifiés. Ces processus sont pourtant fondamentaux pour l'ensemble du bassin versant de l'Usumacinta.

Cette publication propose d'expliquer en douze questions la nature et l'importance des sédiments de l'Usumacinta : à quoi servent-ils, quel est leur rôle dans les écosystèmes, sont-ils contaminés, quels usages ont-ils eu au fil du temps, comment peut-on les valoriser ? Les réponses, rédigées par des scientifiques, contribuent à la connaissance du fleuve et à la construction d'une relation durable avec les êtres humains qui vivent sur ses rives. Ces enjeux, exposés à travers l'exemple de l'Usumacinta, peuvent être transposés à tout autre grand fleuve.

Cette publication s'inscrit dans le cadre d'une étroite collaboration scientifique entre des chercheurs mexicains et français, entre 2018 et 2022 : le projet VAL-USES « De l'usage traditionnel à la valorisation intégrée des sédiments dans le bassin du fleuve Usumacinta ». Ce projet interdisciplinaire a été approuvé et financé par l'Agence nationale de la recherche française (ANR-17-CE03-0012-01) et le Conseil national de la science et de la technologie du Mexique (FONCICYT-290792).

