



10 septembre 2010



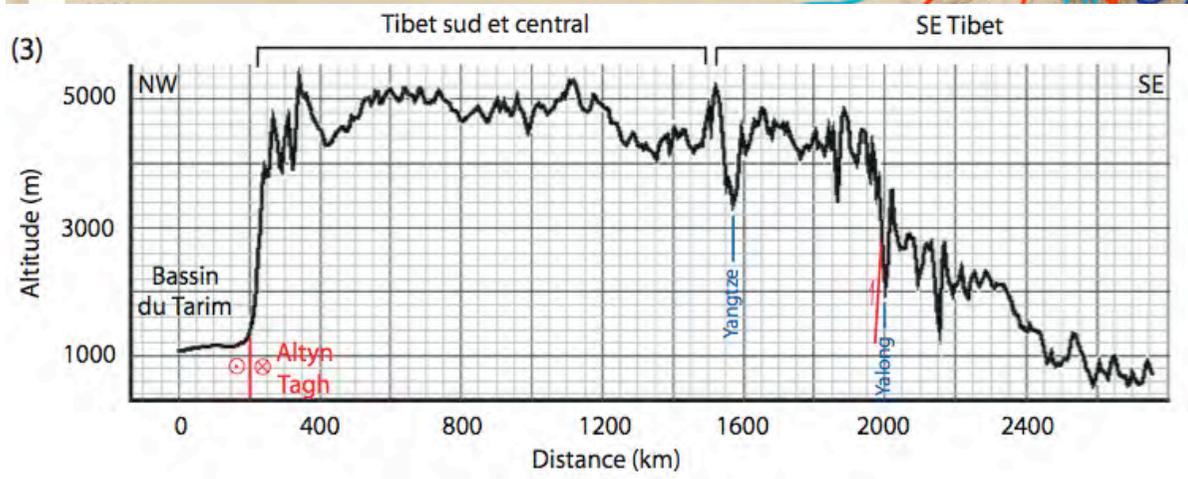
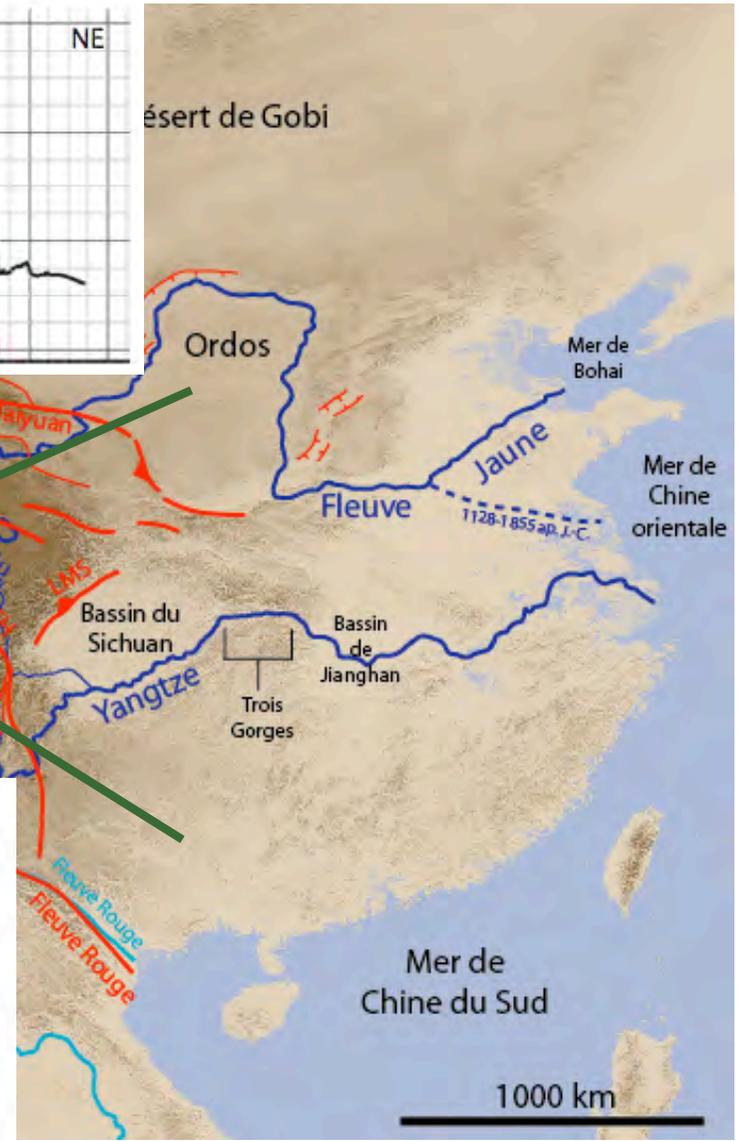
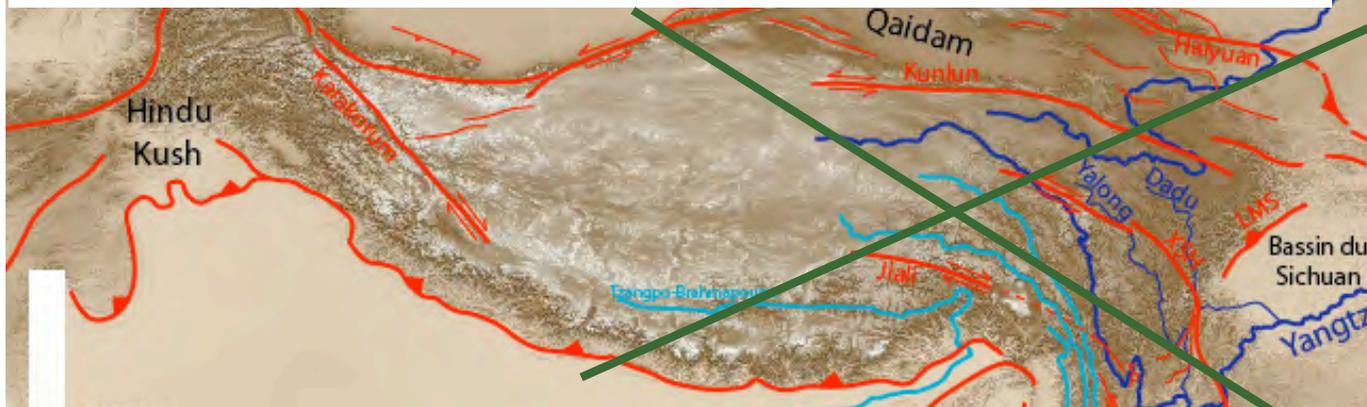
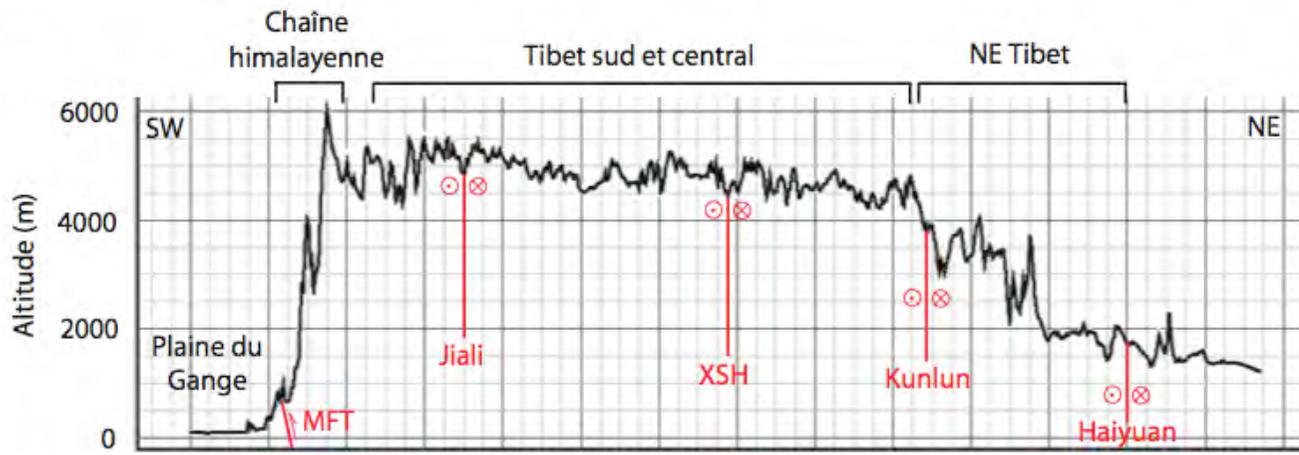
# Évolution morphologique et tectonique récente des marges NE et SE du plateau tibétain: lien avec la dynamique des grands fleuves

Aude Perrineau

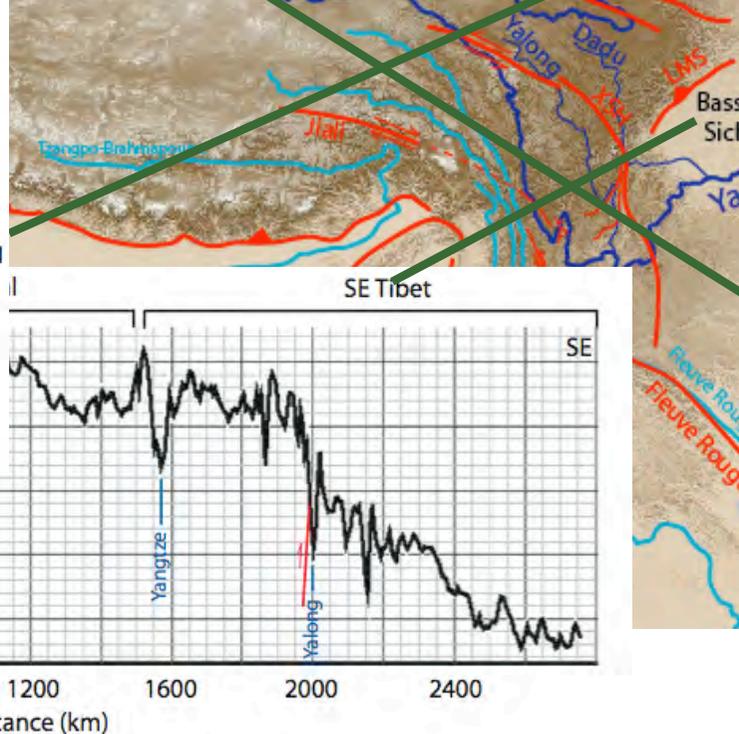
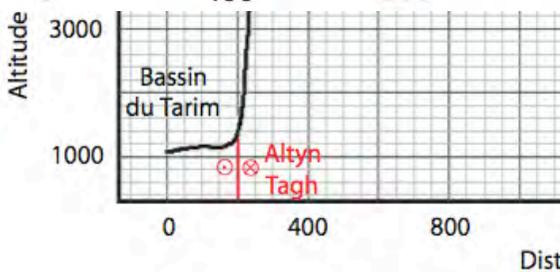
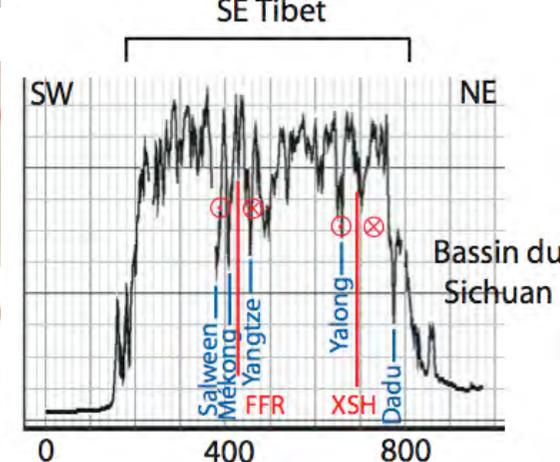
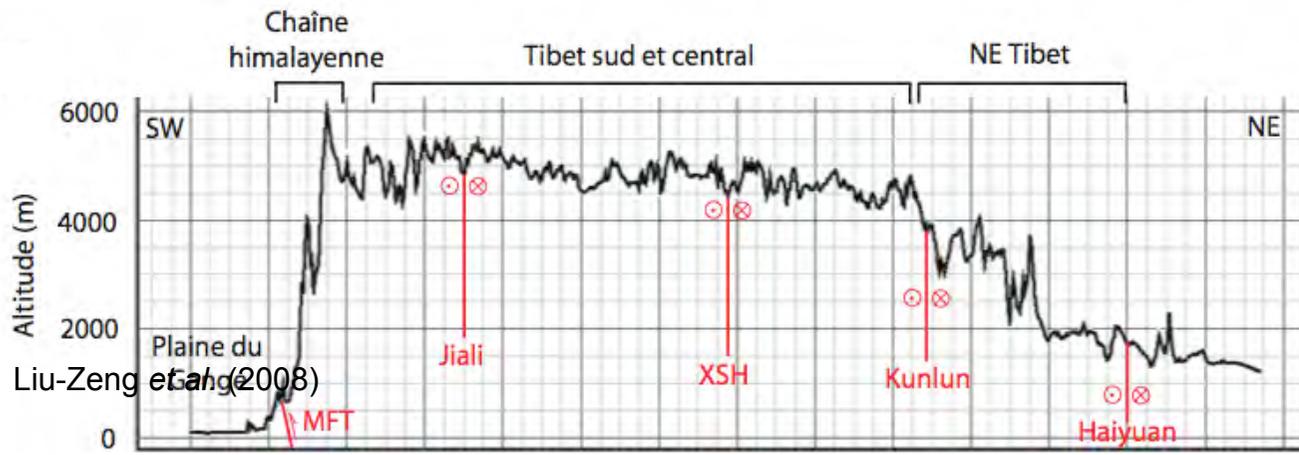
# Introduction



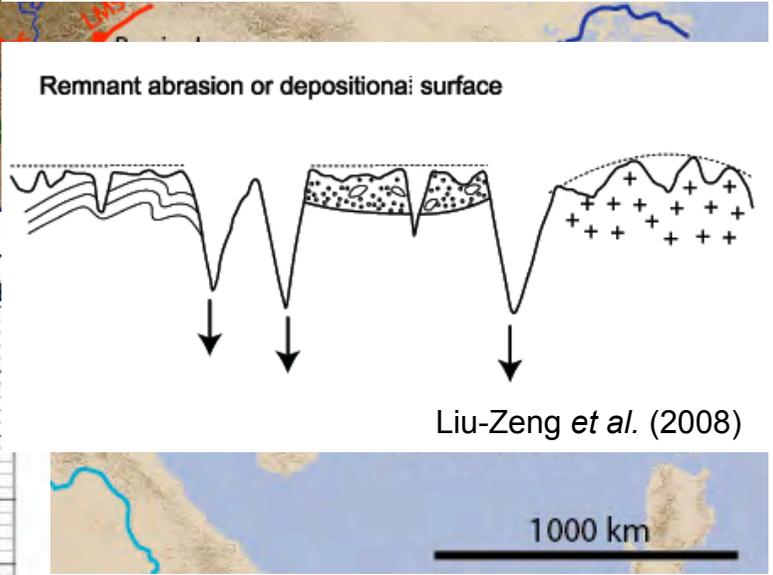
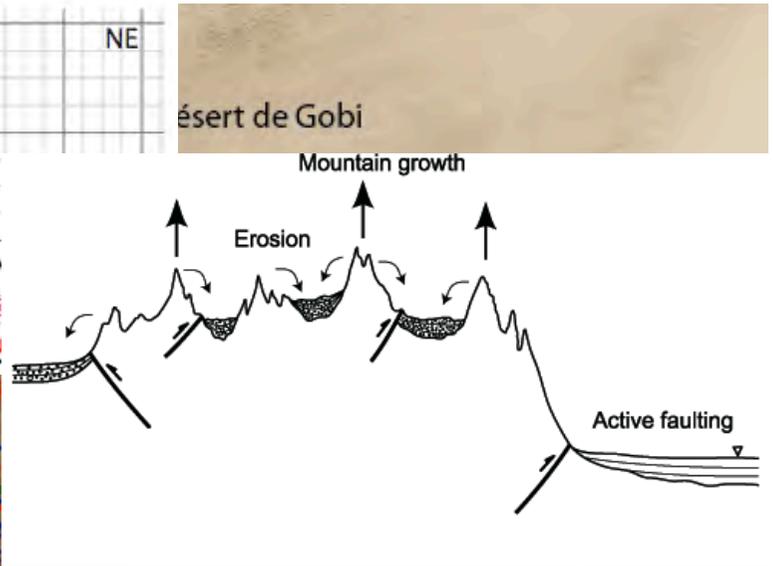
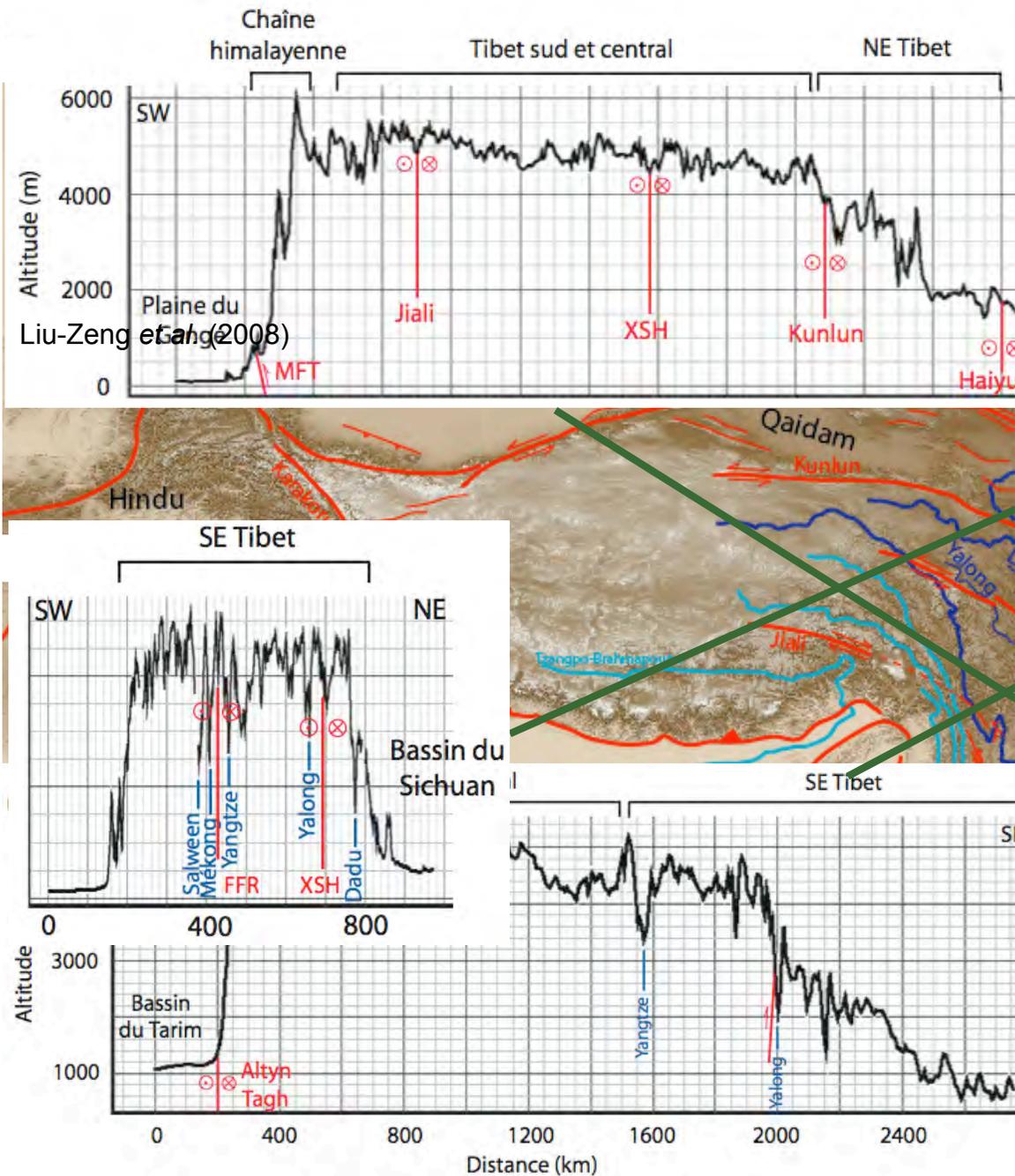
# Morphologie du plateau



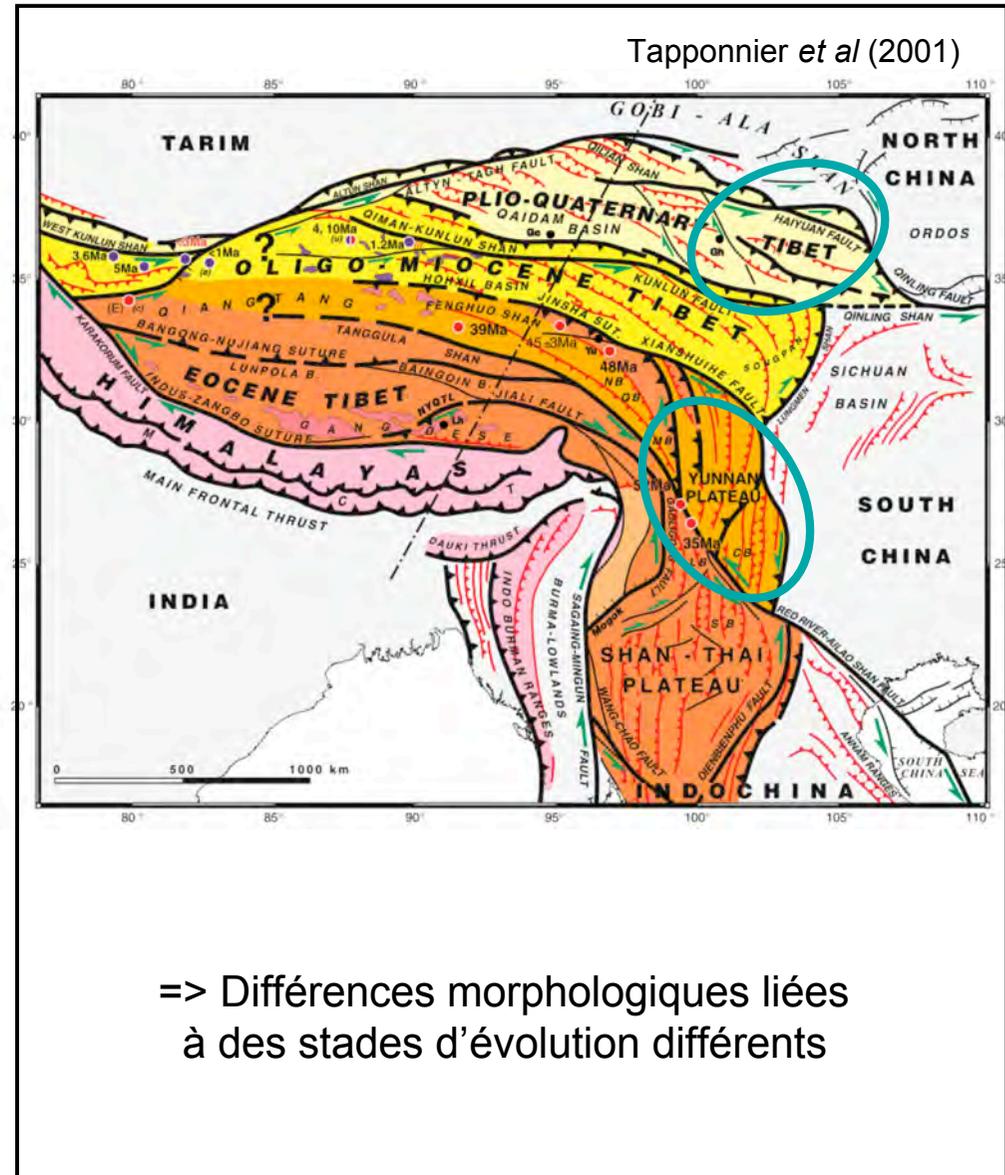
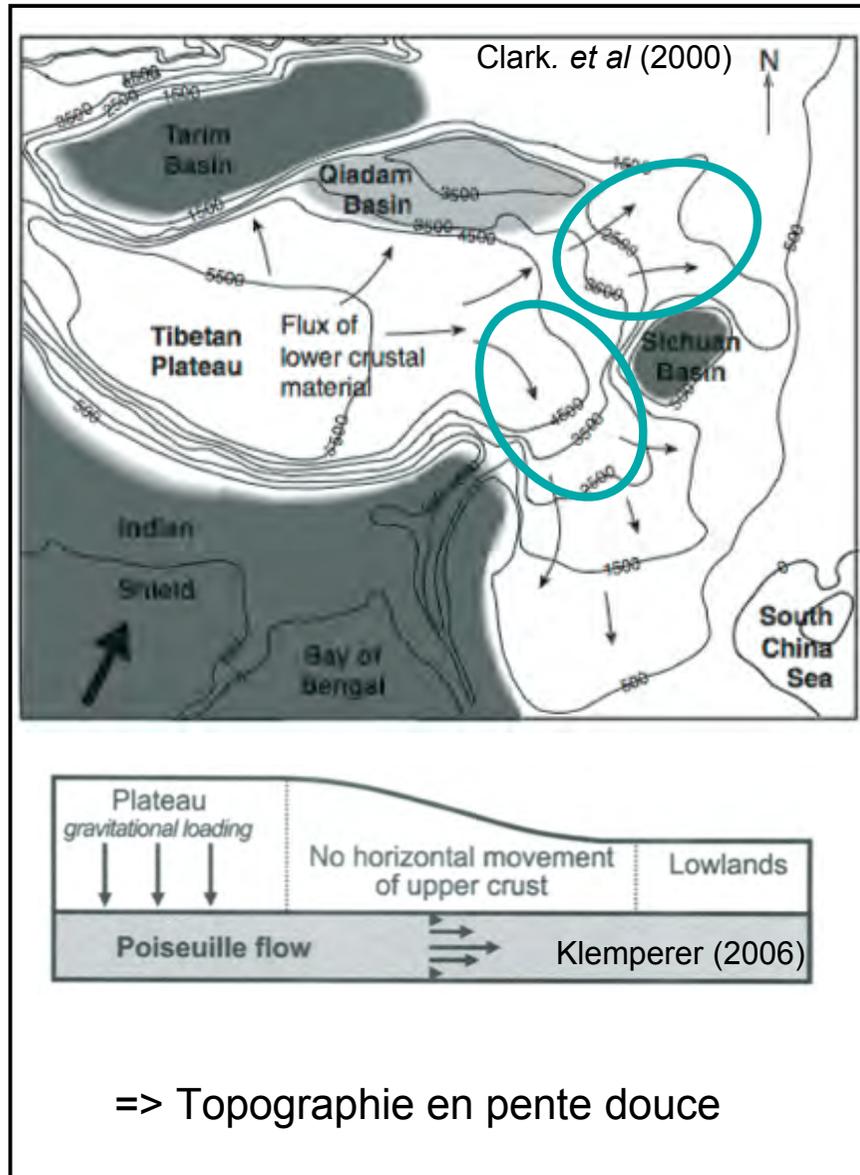
# Morphologie du plateau



# Morphologie du plateau



## Modèles de déformation



# Quelques grands problèmes

- Mécanisme(s) responsable(s) du soulèvement du plateau
- Rôle et vitesse de mouvement des grandes failles
- Vitesse d'évolution du relief et de croissance du plateau
- Conséquences de l'activité tectonique sur l'organisation du réseau fluvial
- Impact des phénomènes climatiques sur l'évolution du relief

Problèmes concernant le Tibet, mais aussi, de manière plus générale, la collision continentale et la déformation de la lithosphère

# Comment les grands fleuves peuvent-ils nous renseigner sur l'évolution récente des reliefs dans l'Est du Tibet ?

- Détermination de la chronologie de la propagation des fleuves vers l'intérieur du plateau

=> passage d'un plateau non drainé à un plateau drainé

- Détermination des vitesses d'incision, de leur répartition spatiale et de leur évolution au cours du temps

=> mécanisme de l'épaississement crustal

- Détermination des vitesses de mouvement vertical des zones en surrection traversées par des fleuves

=> vitesse de formation et âge des reliefs

# Méthodes utilisées

- Cartographie et analyse géomorphologique
- Cartographie géologique
- Datations de terrasses alluviales (isotopes cosmogéniques  $^{10}\text{Be}$  et  $^{26}\text{Al}$ )
- Thermochronologie ((U-Th)/He,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ )

# Sommaire

## 1. Modalités de la propagation des fleuves vers l'intérieur du plateau

1.1 Les bassins du Fleuve Jaune: des lacs endoréïques à l'excavation par le fleuve (Gonghe)

1.2 L'incision de la marge SE et ses liens possibles avec la croissance du plateau

## 2. Enregistrement de soulèvements tectoniques récents

2.1 Le soulèvement d'un relais compressif de la faille de Haiyuan (Mijia Shan)

2.2 La surrection du Yulong Shan et la faille normale de Daju

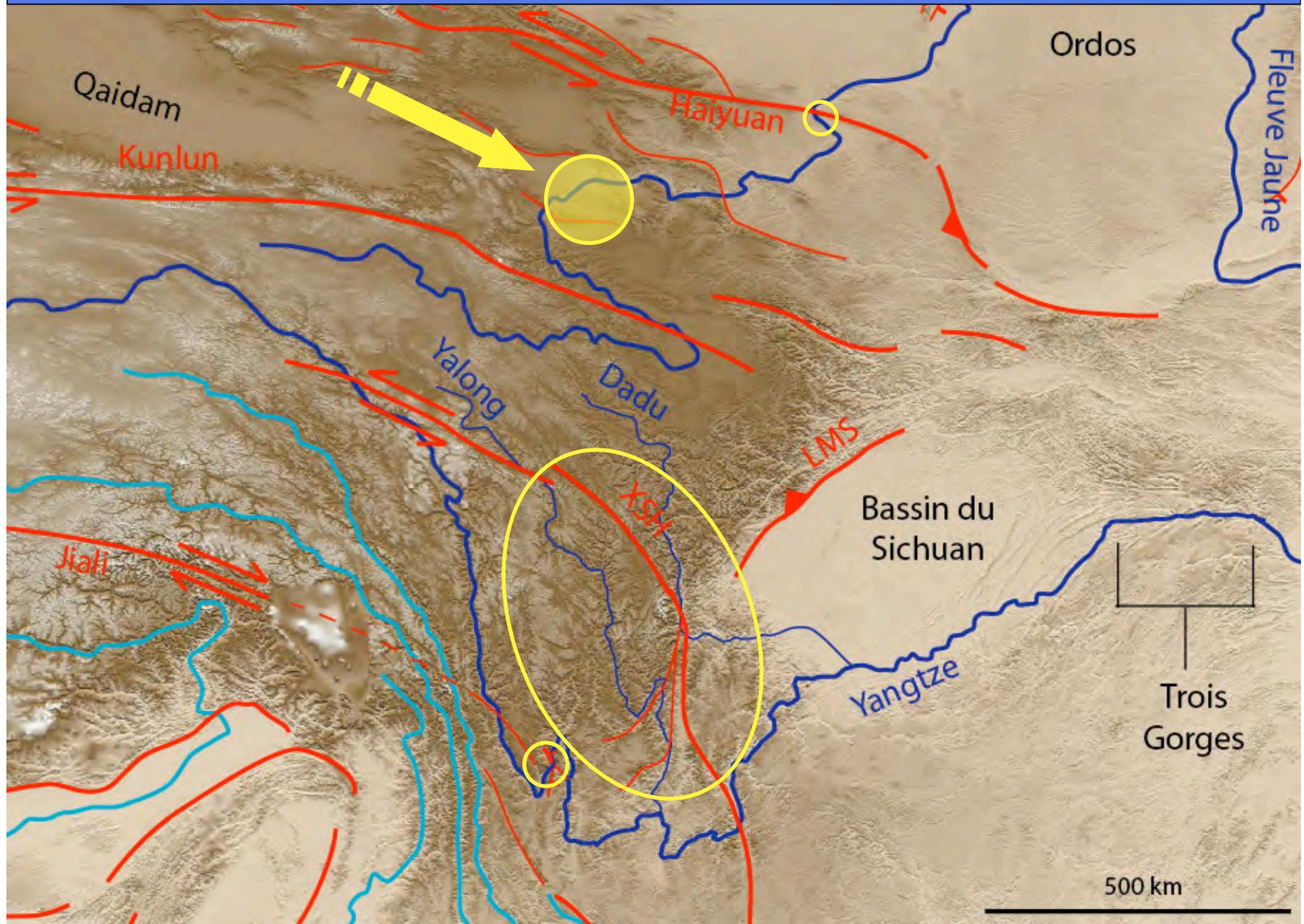
## Conclusion

1.

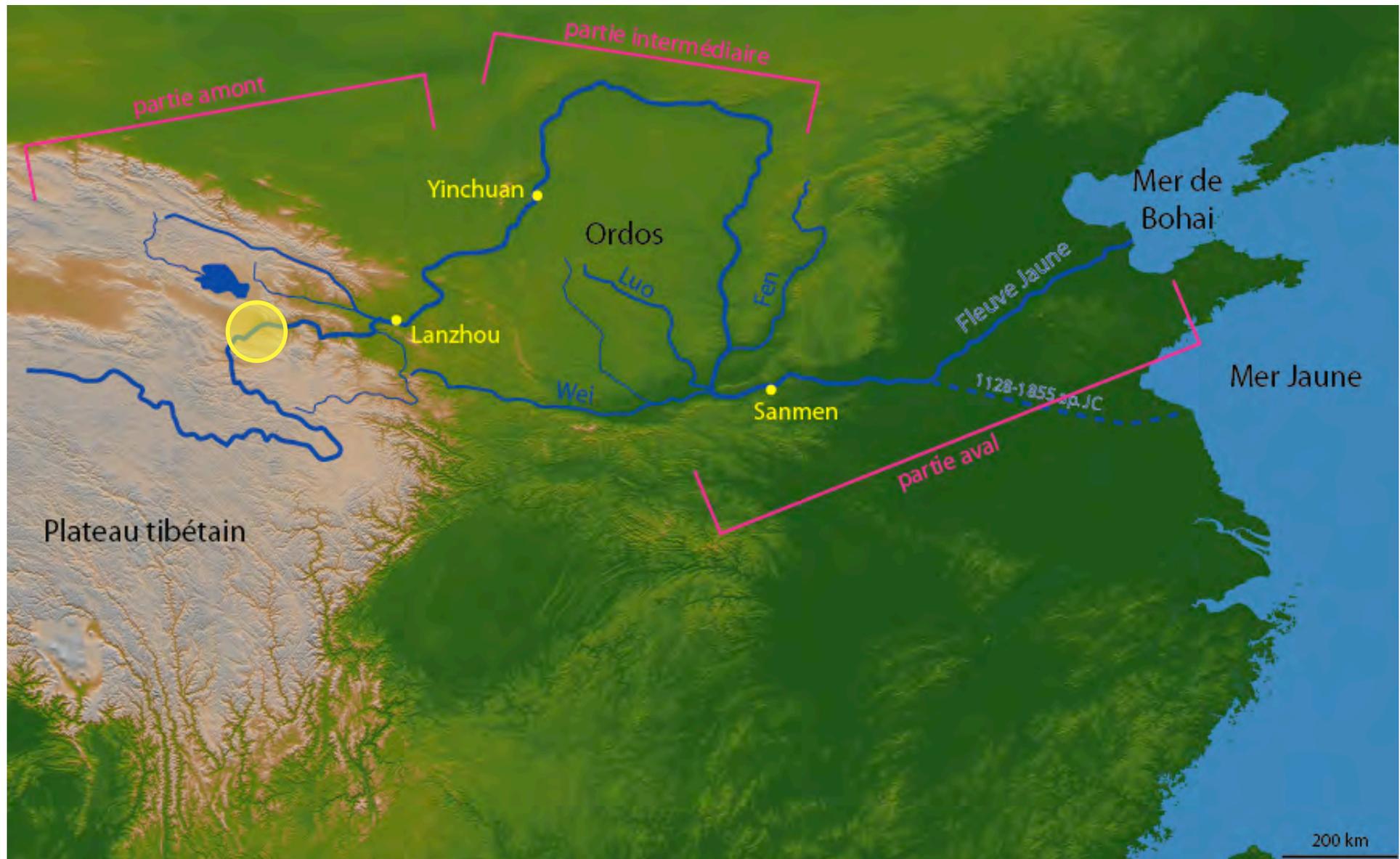
## Mécanisme de propagation des fleuves vers l'intérieur du plateau

1.1

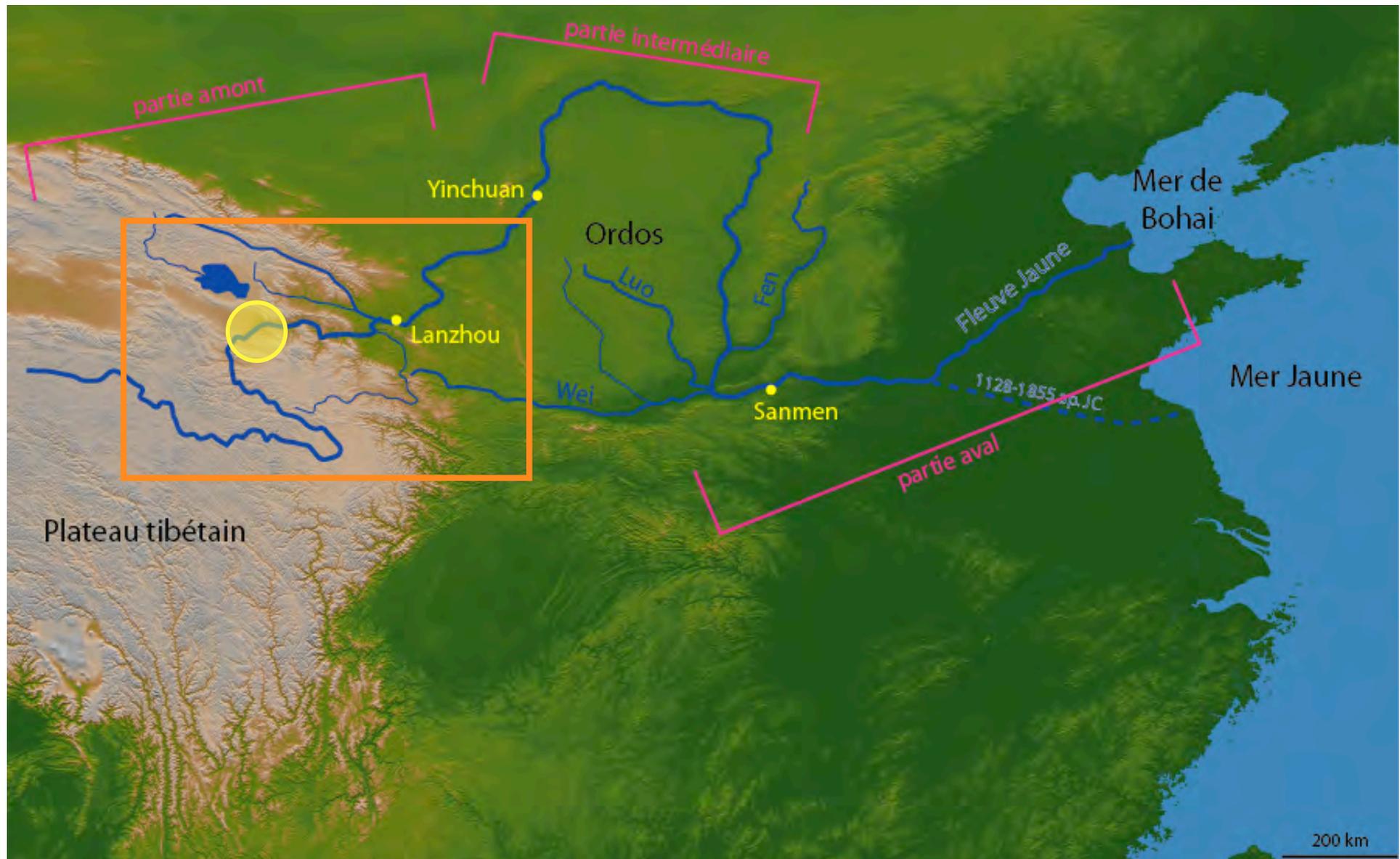
Les bassins du Fleuve Jaune: des lacs endoréïques à l'excavation par le fleuve [Gonghe]



## Cours du Fleuve Jaune



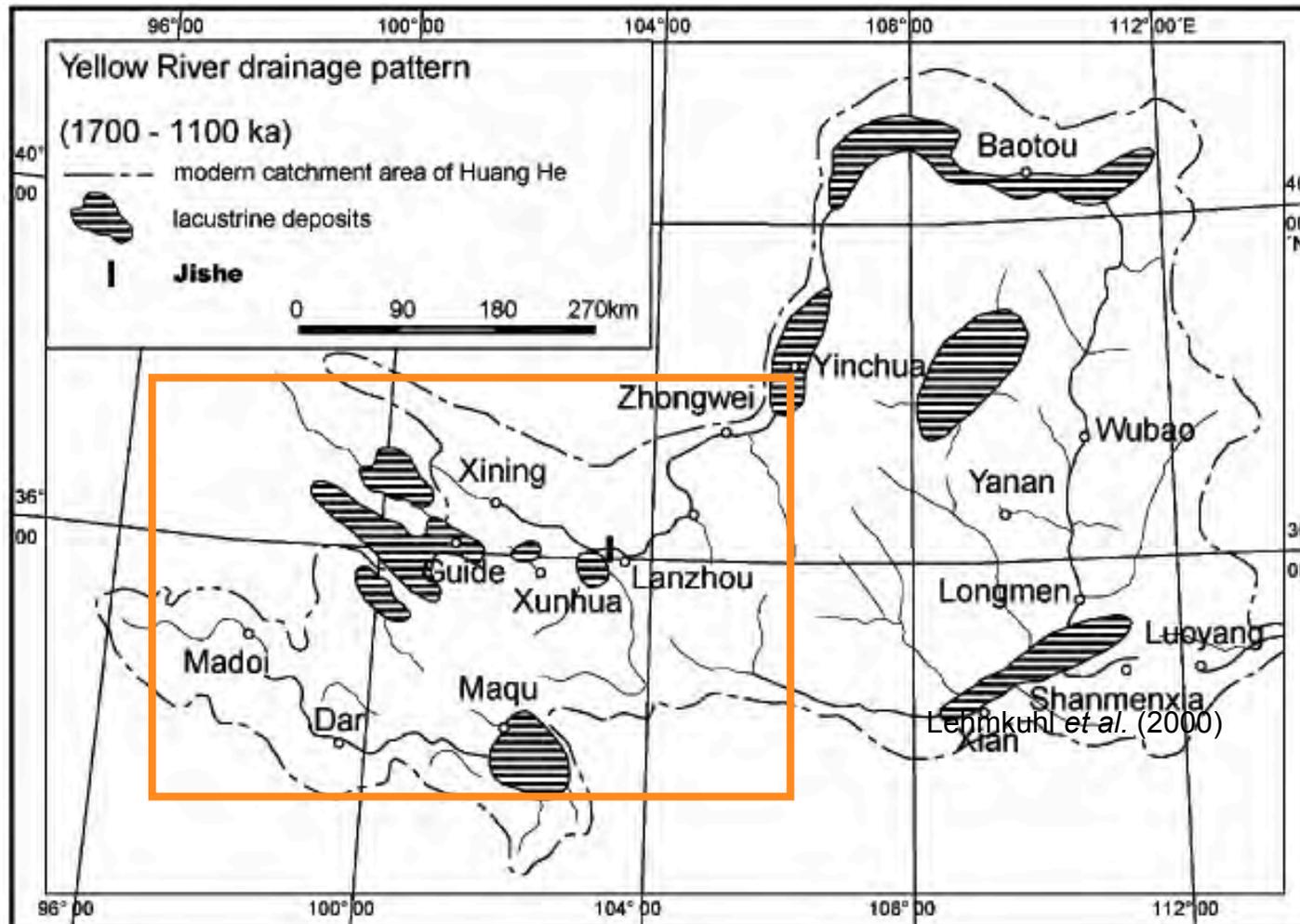
## Cours du Fleuve Jaune





## Évolution long terme du fleuve

L'âge du fleuve est inconnu mais sa géométrie actuelle sans doute récente.  
Une phase lacustre généralisée début Quaternaire laisse peu à peu place au fleuve.

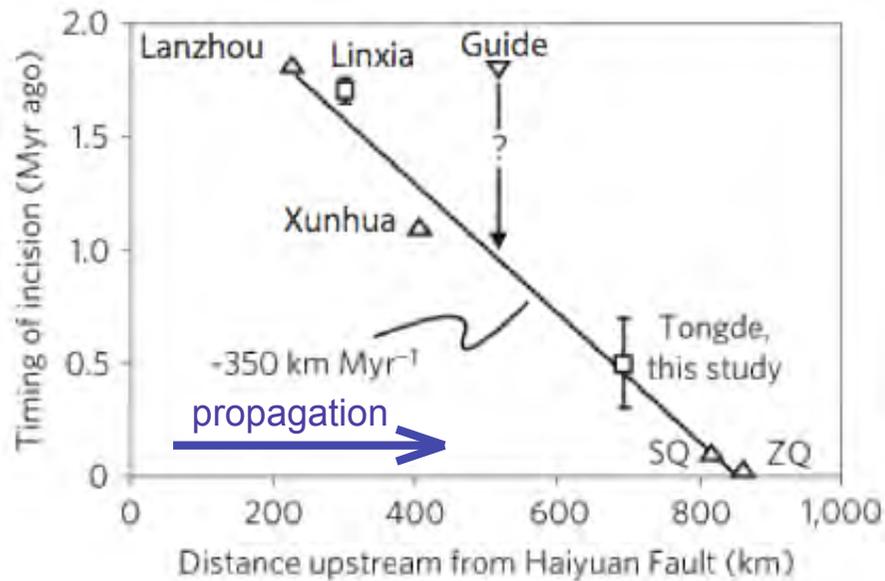


## Exemples de chronologie possible pour la propagation du fleuve

Li (1991)



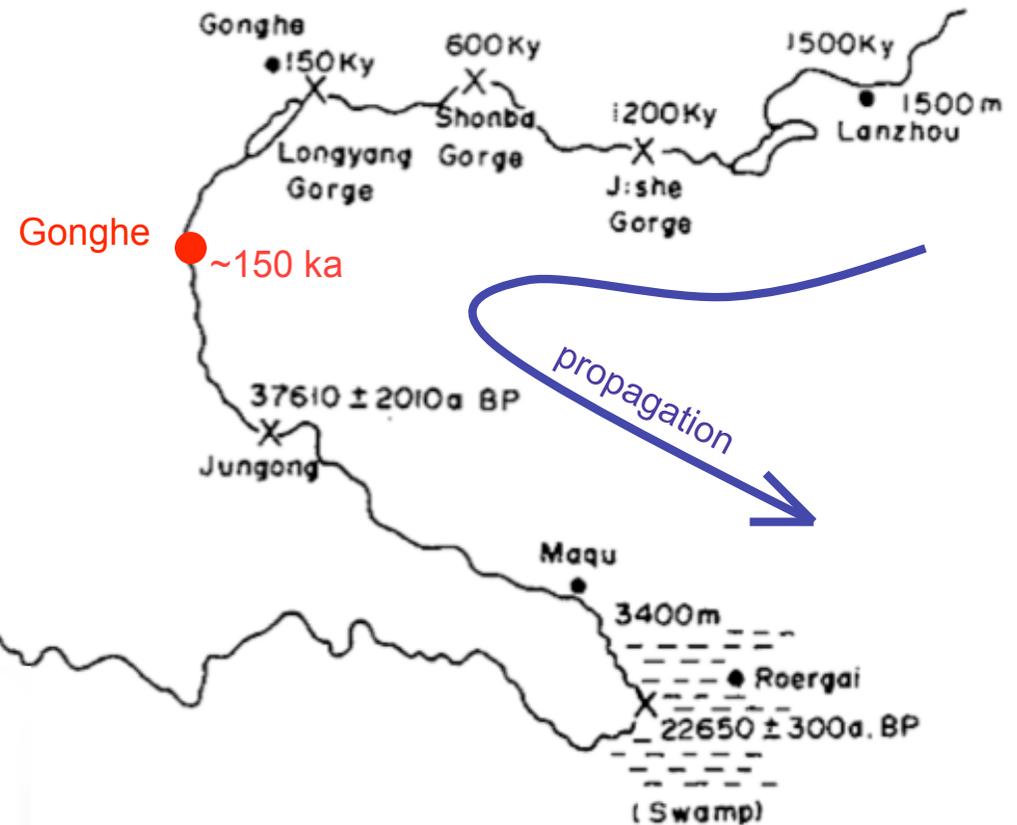
Estimations d'âges de début d'incision



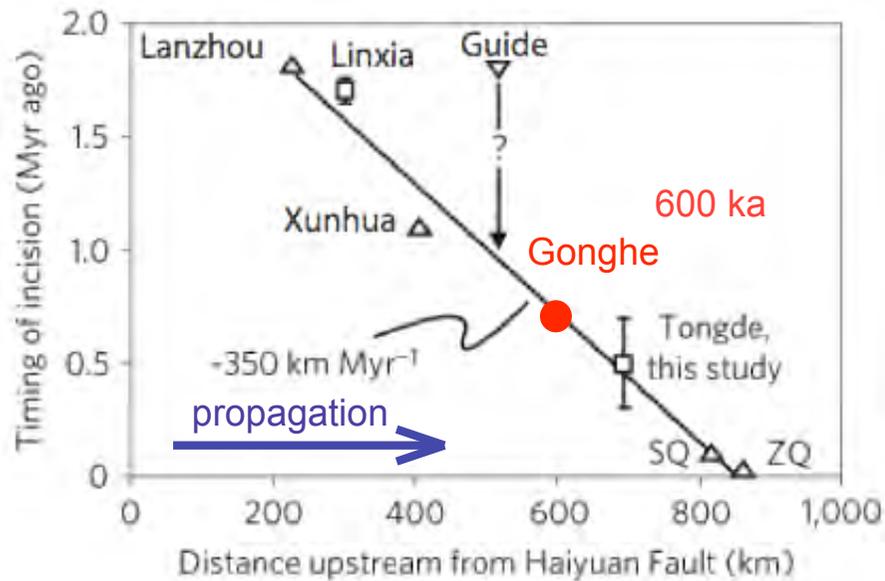
Craddock *et al.* (2010)

## Exemples de chronologie possible pour la propagation du fleuve

Li (1991)

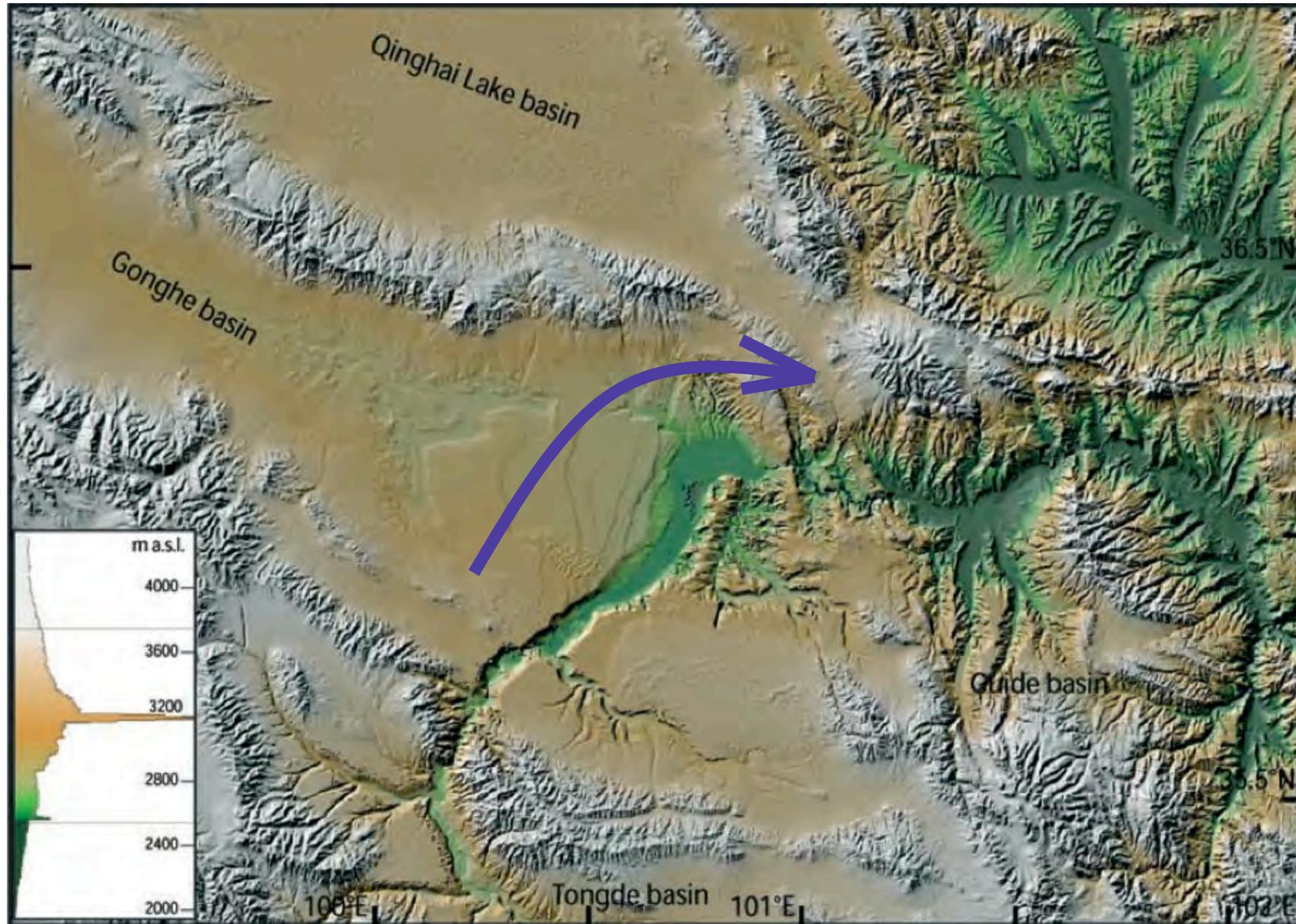


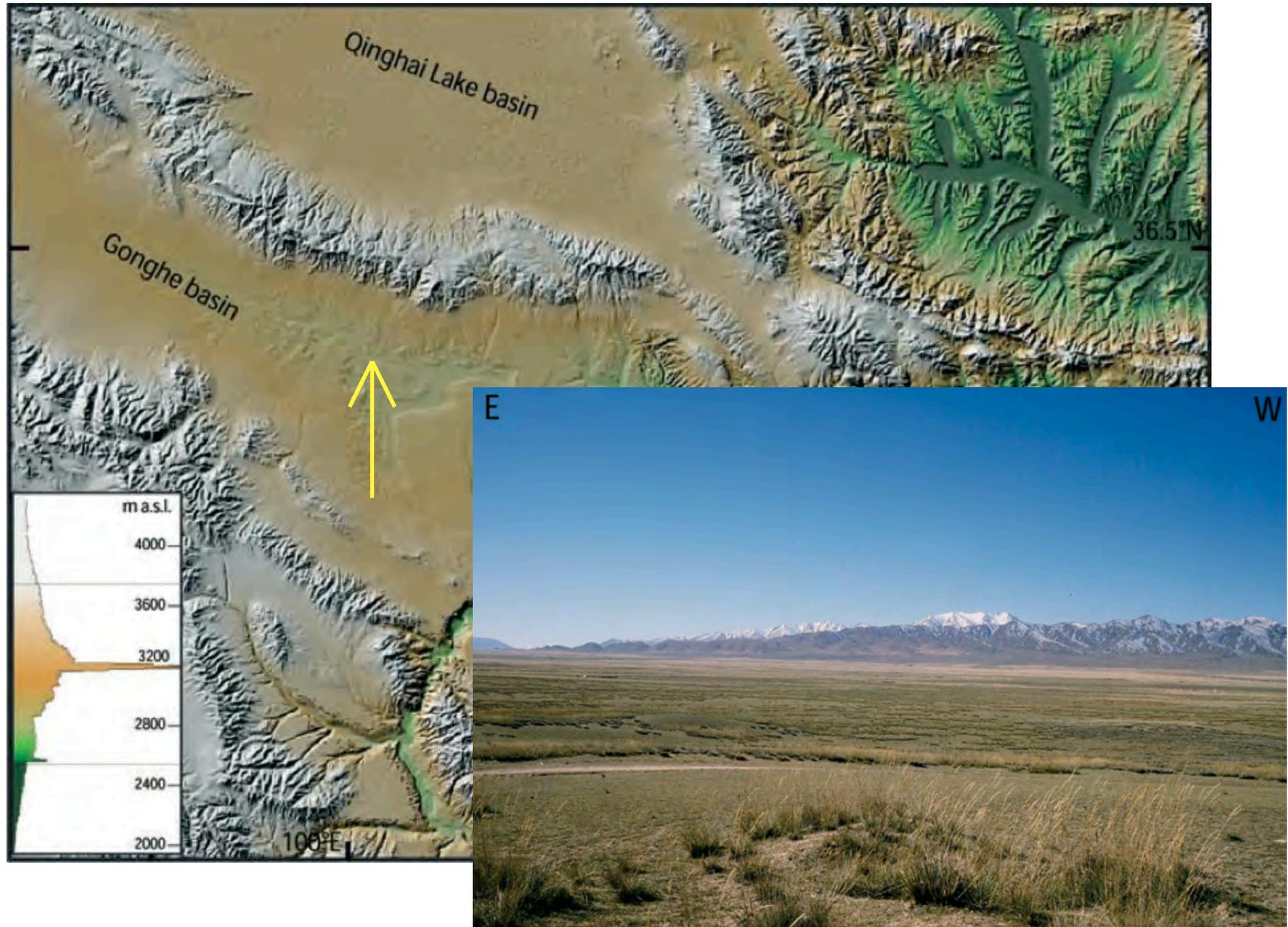
Estimations d'âges de début d'incision



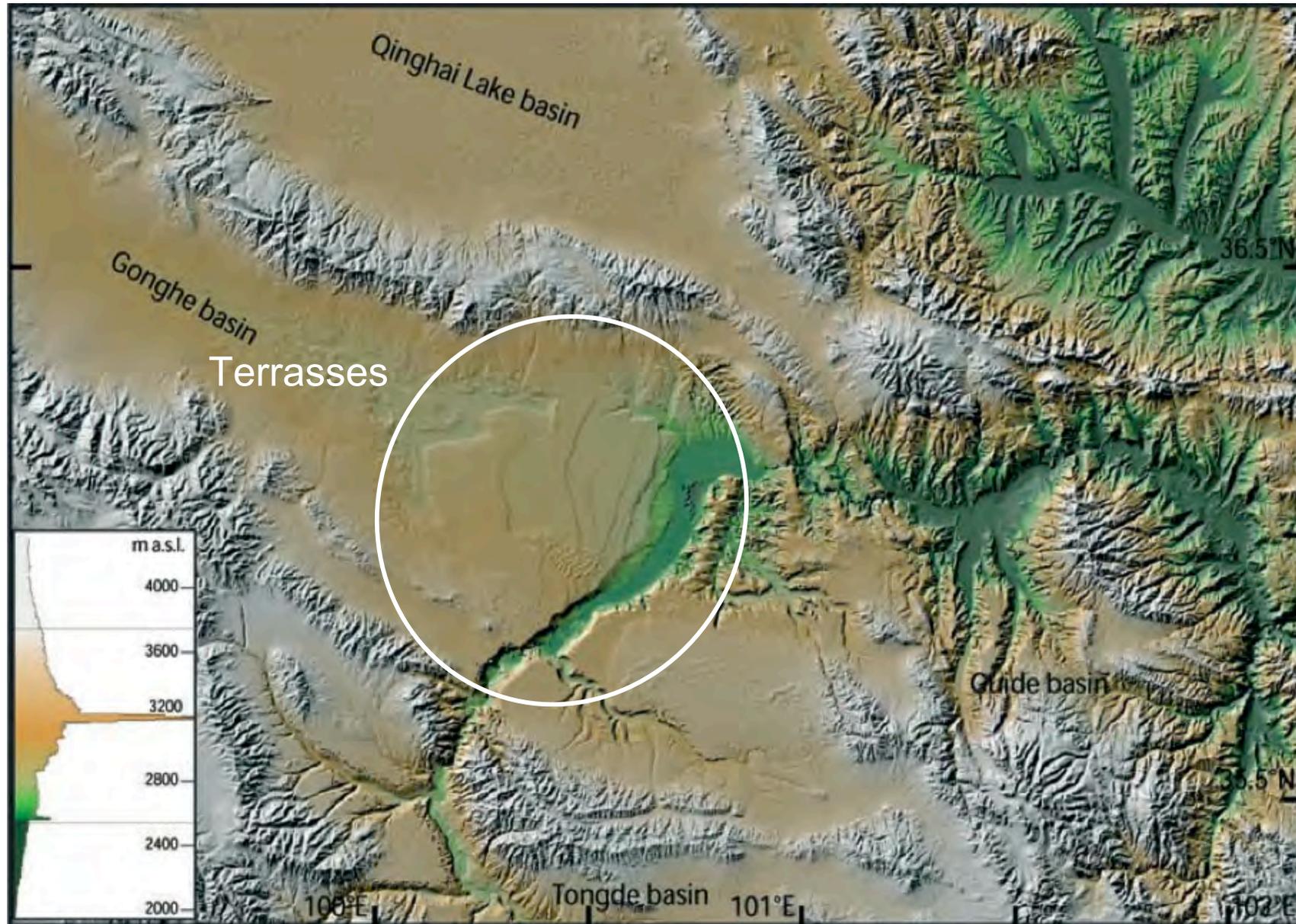
Quid du bassin de Gonghe?

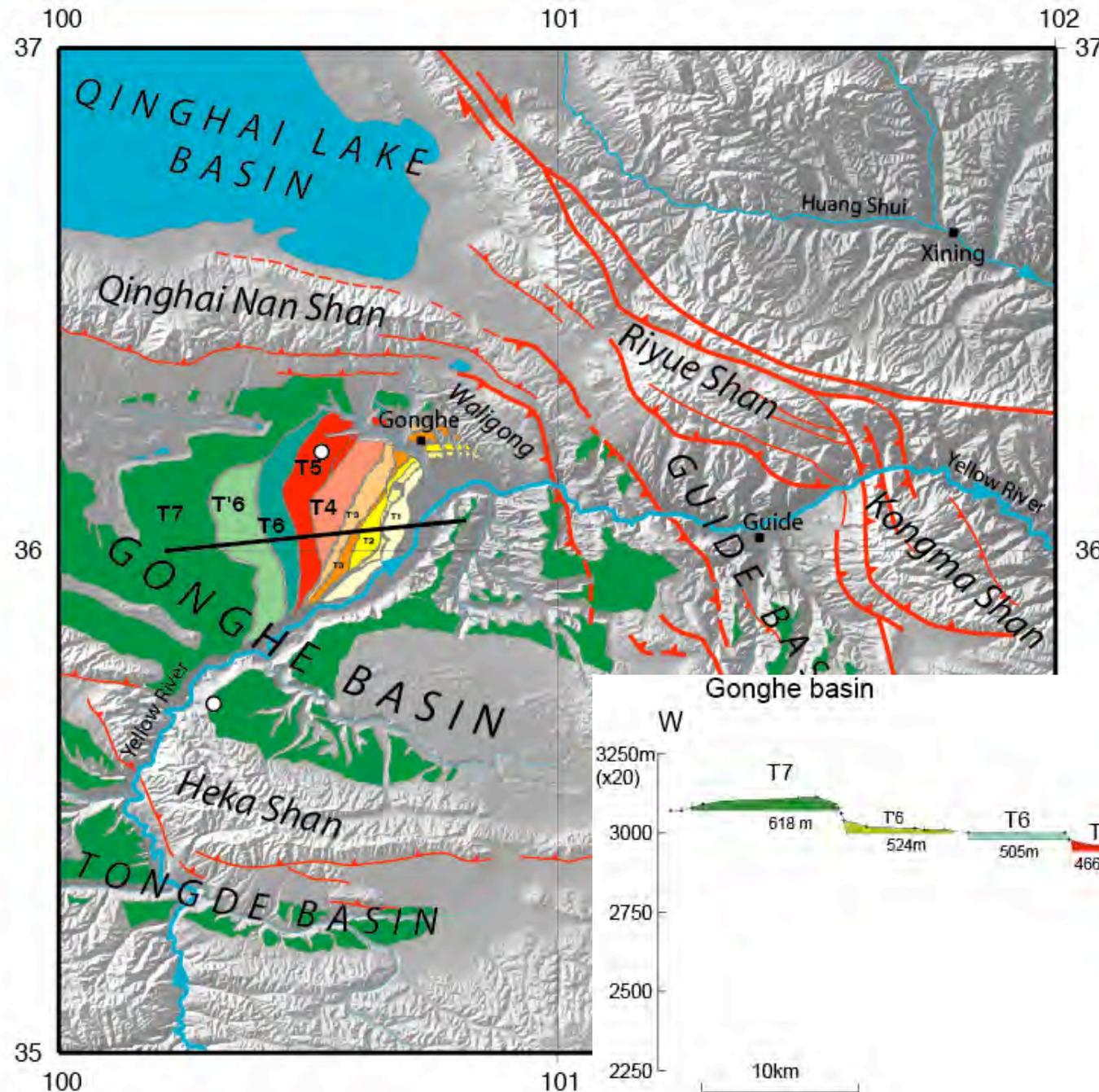
Craddock *et al.* (2010)



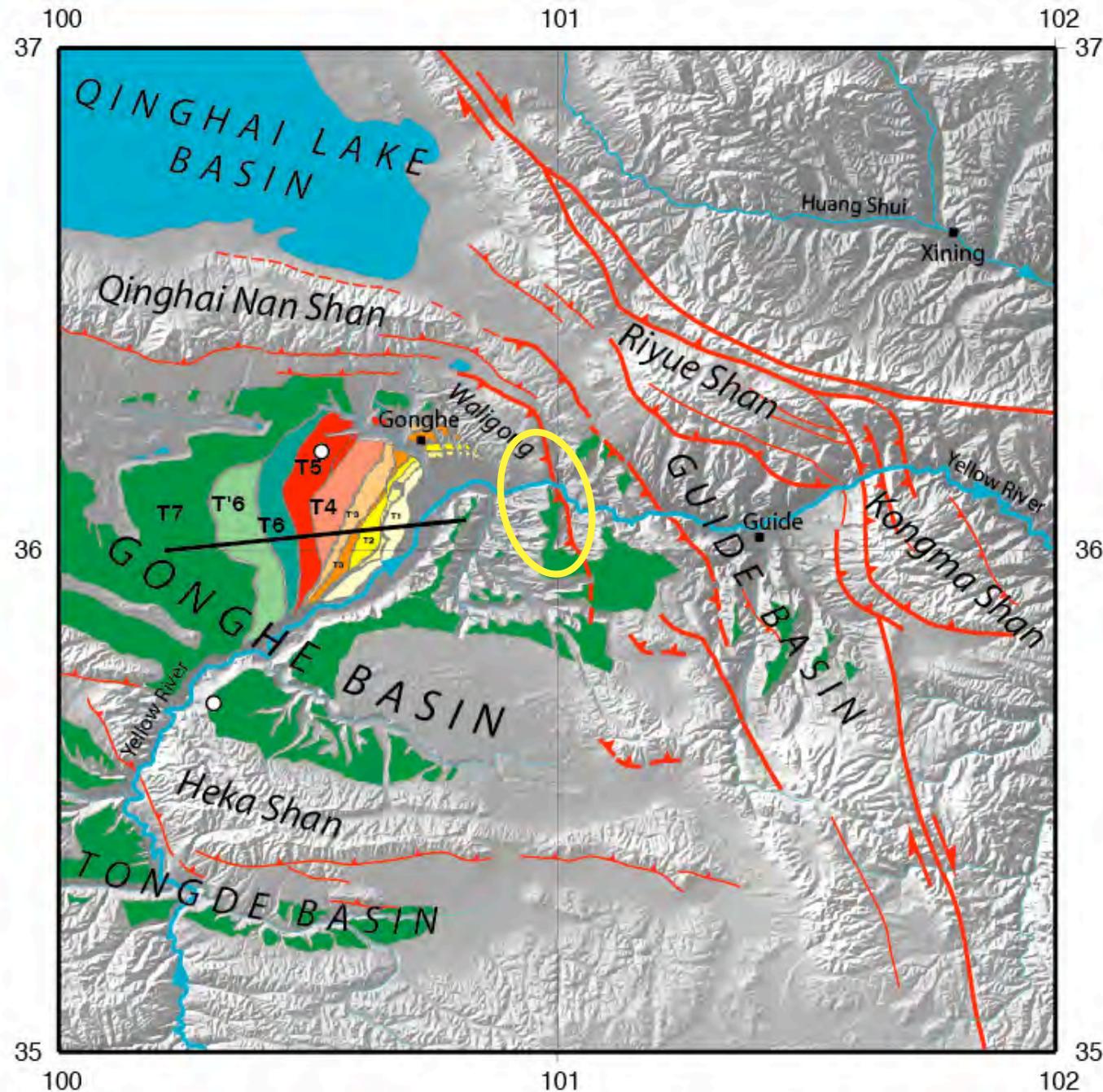






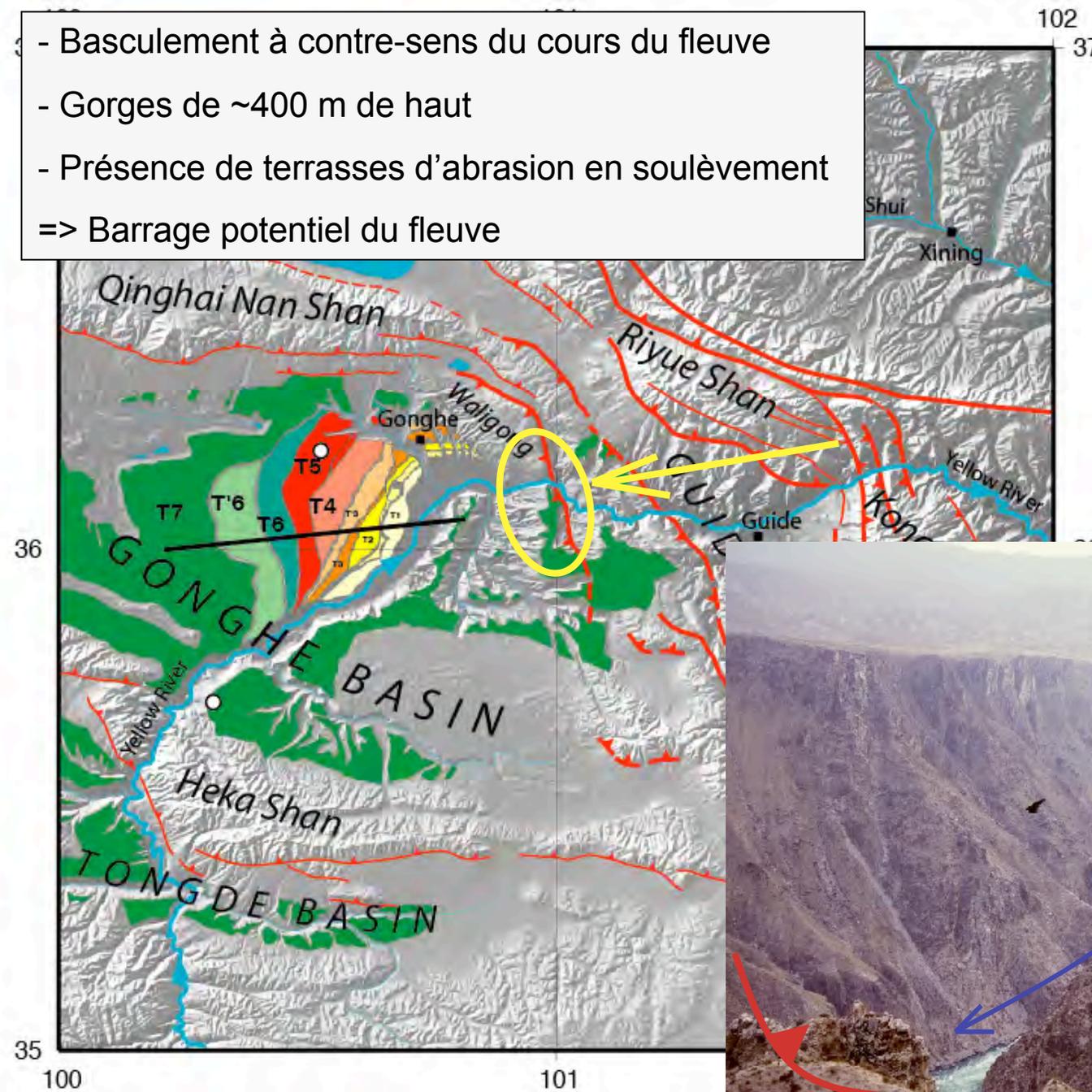


Cartographie des terrasses du bassin

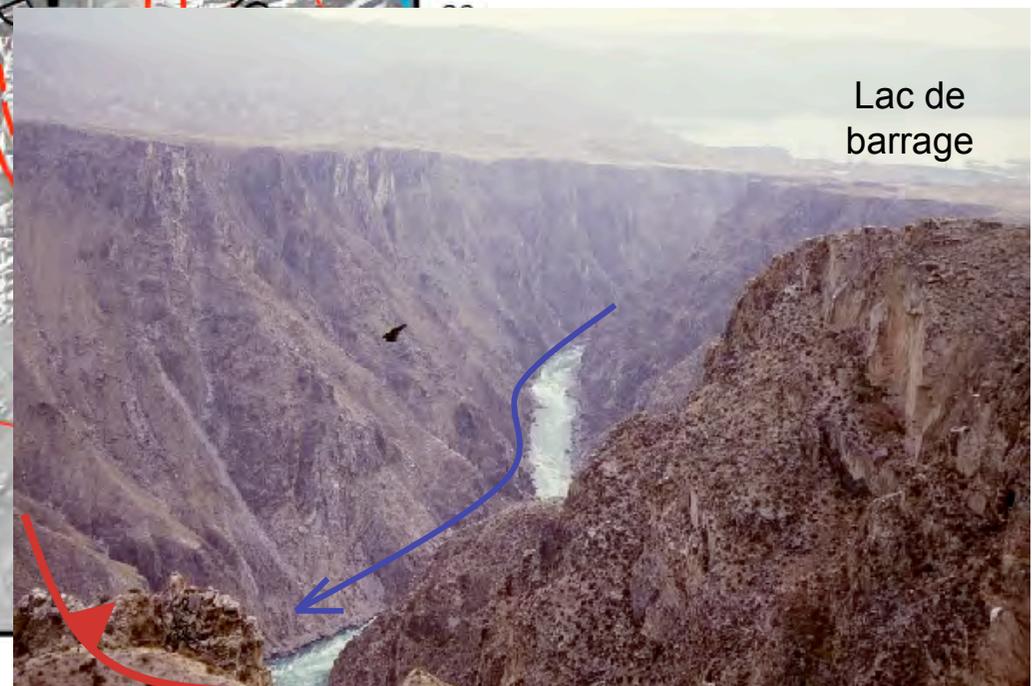


Waligong Shan:  
un massif en  
surrection qui  
ferme le bassin

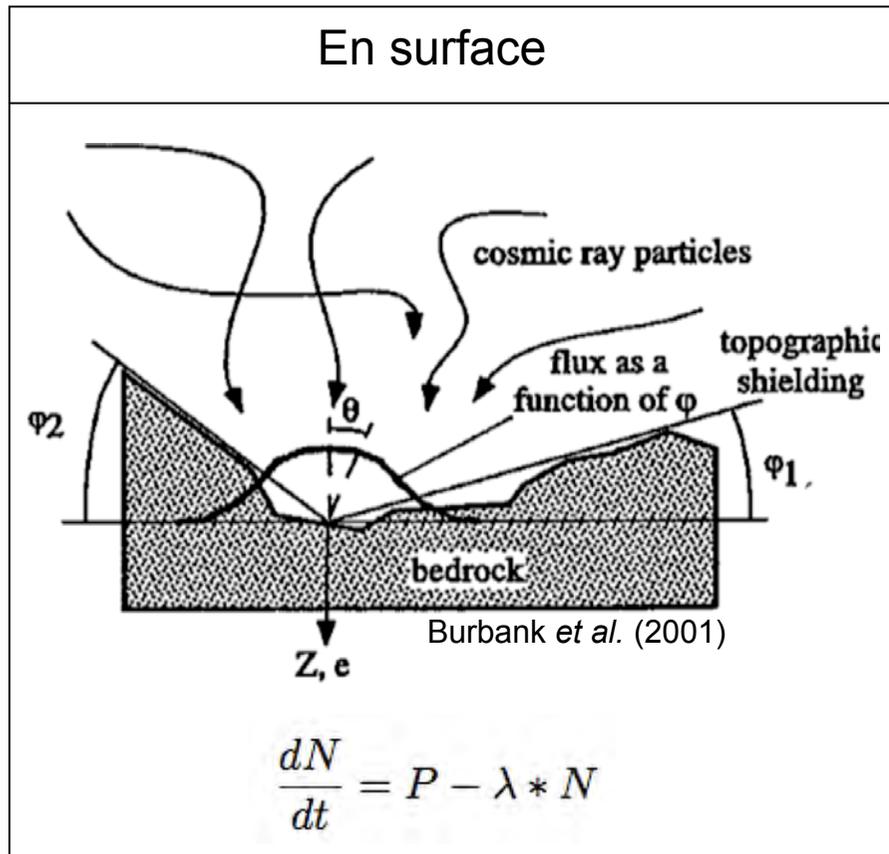
- Basculement à contre-sens du cours du fleuve
  - Gorges de ~400 m de haut
  - Présence de terrasses d'abrasion en soulèvement
- => Barrage potentiel du fleuve



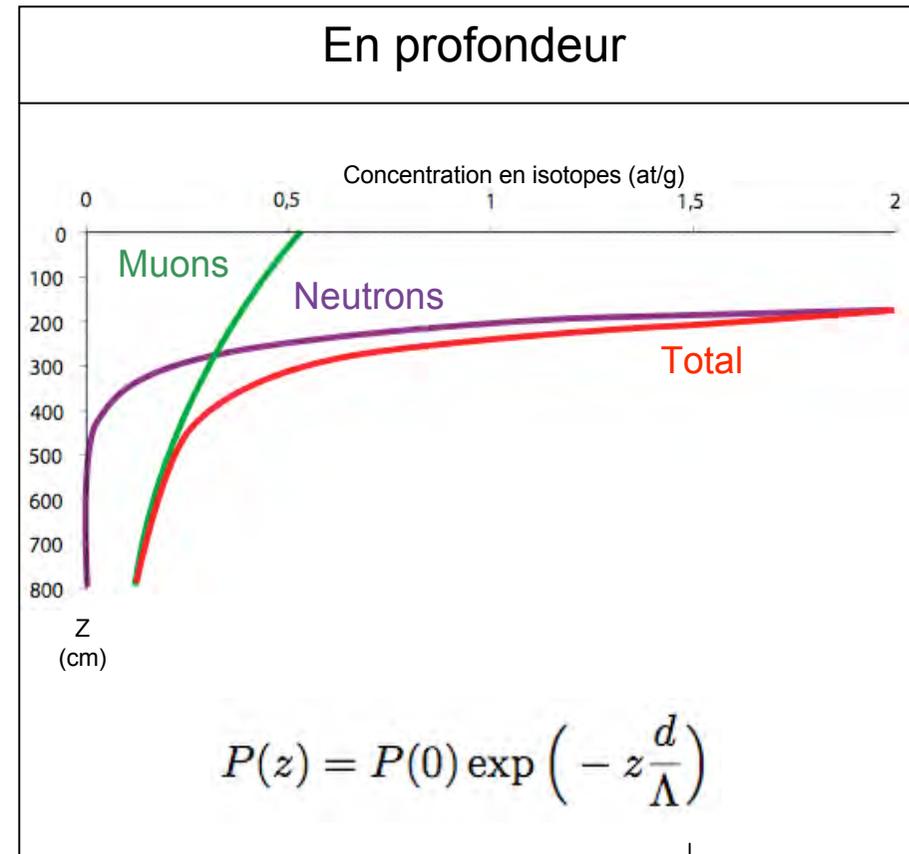
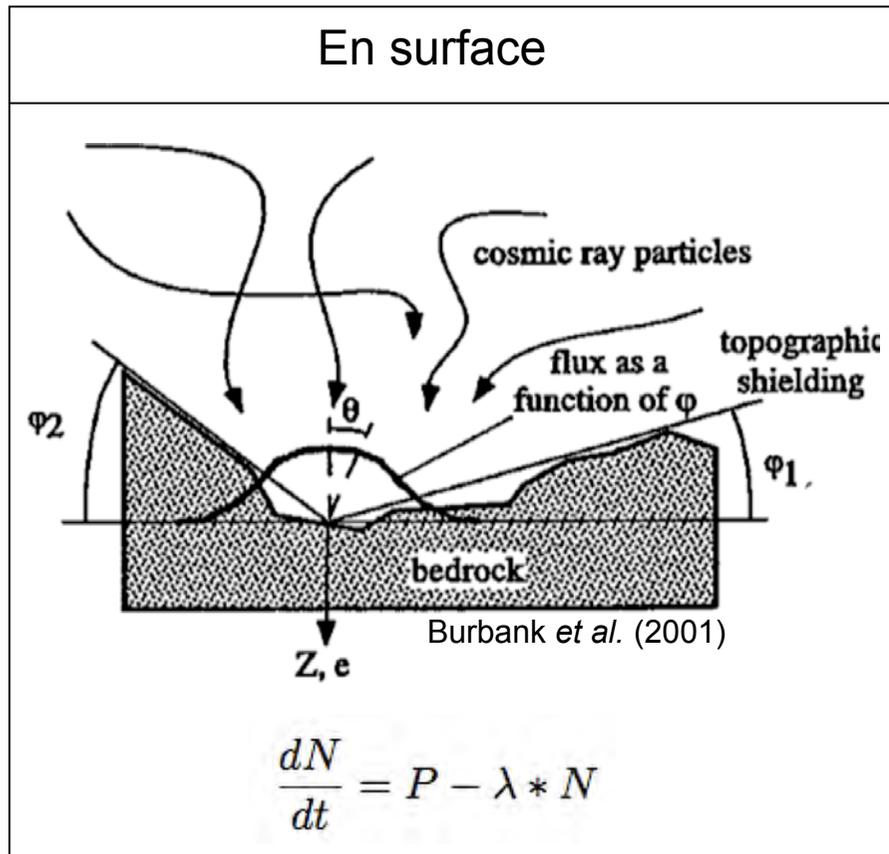
Waligong Shan:  
un massif en  
surrection qui  
ferme le bassin



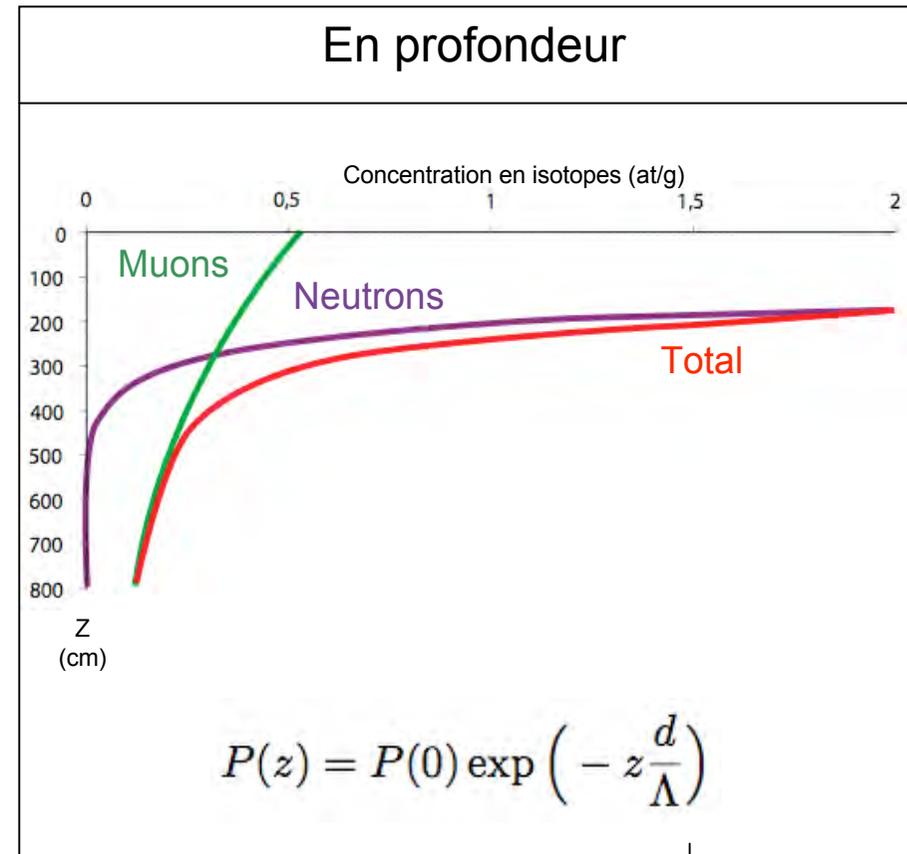
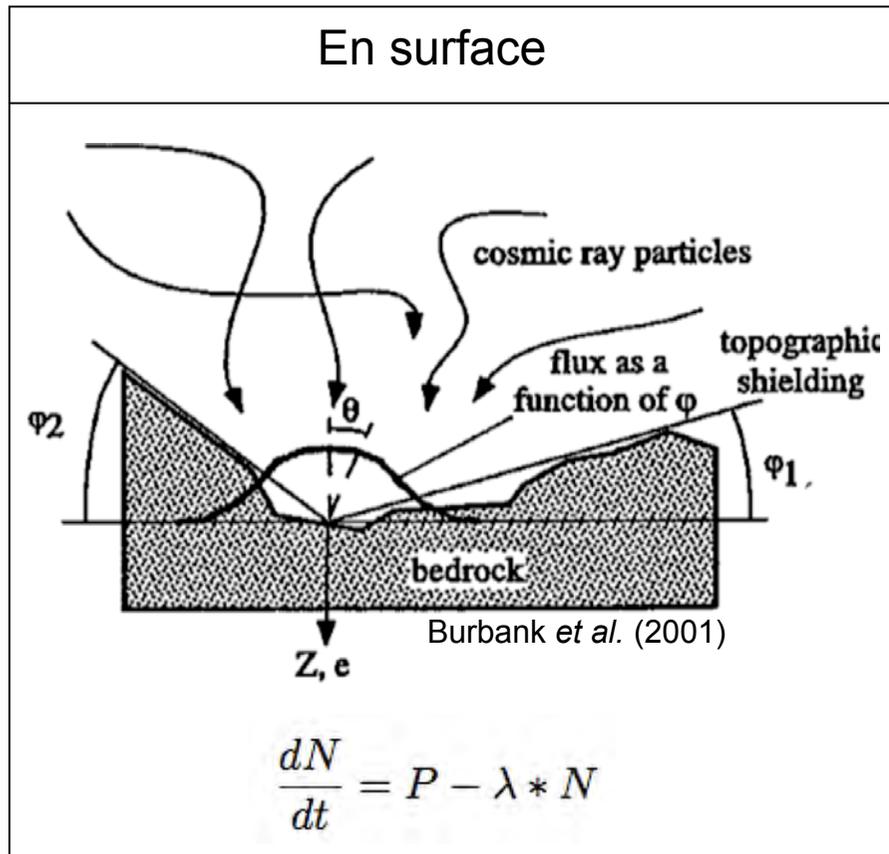
# Principe des datations par isotopes cosmogéniques



# Principe des datations par isotopes cosmogéniques



# Principe des datations par isotopes cosmogéniques

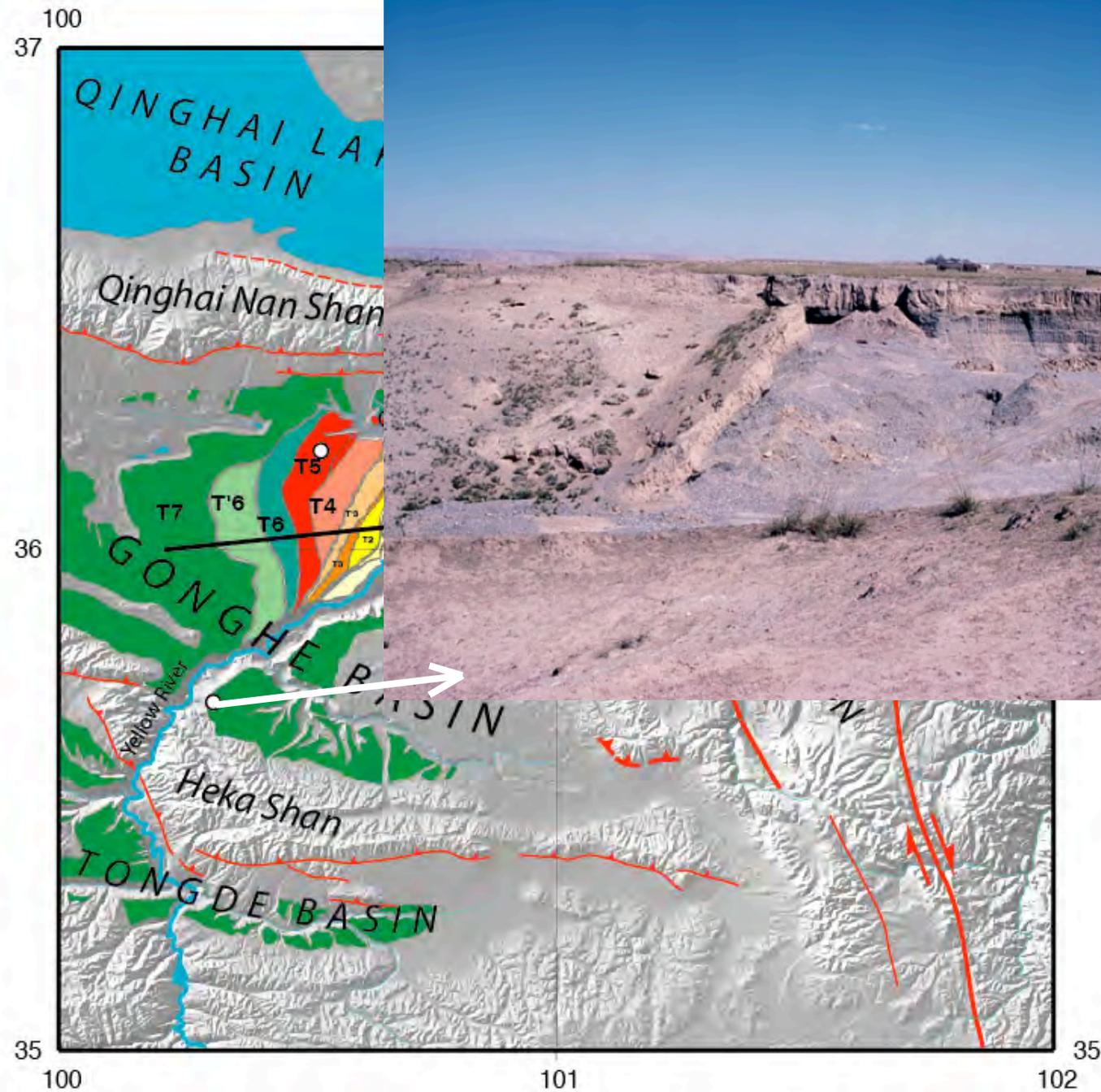


Autres paramètres à prendre en compte:

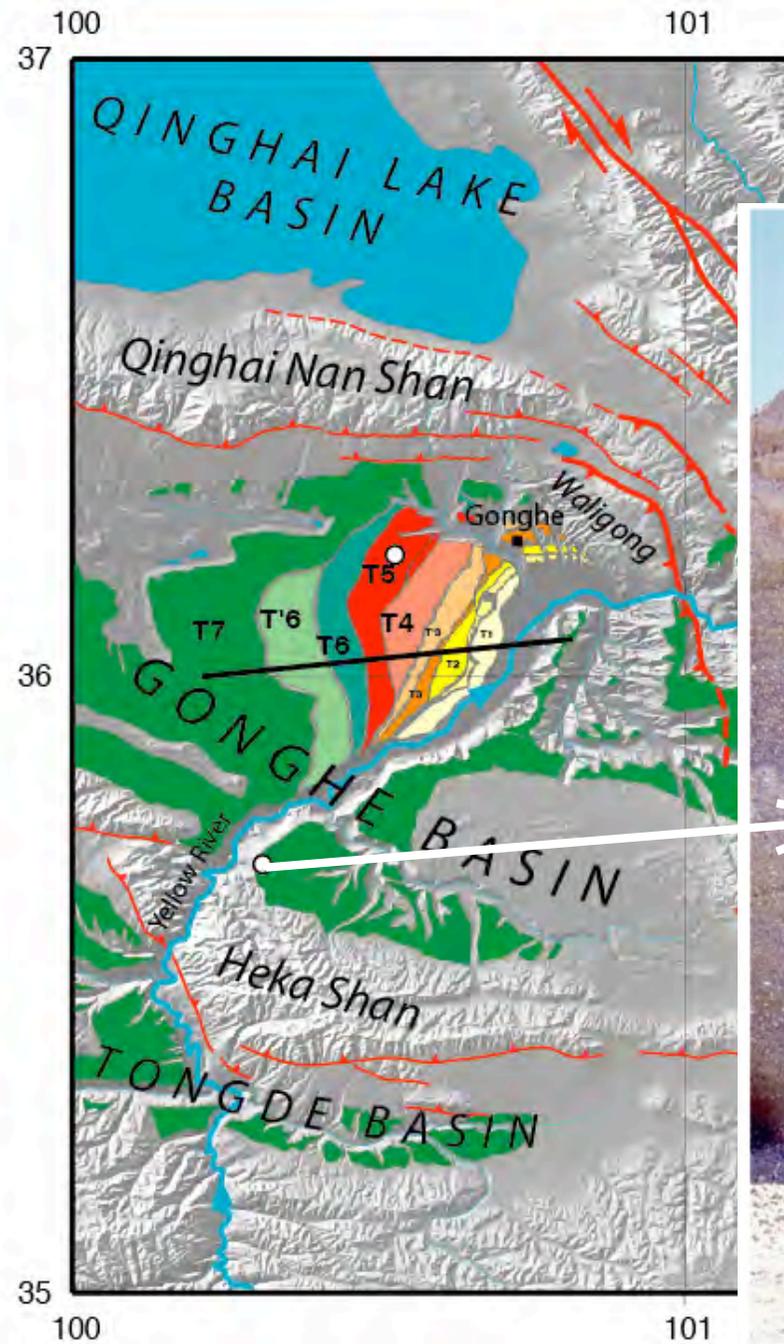
- héritage (âges trop vieux si non pris en compte)
- érosion (âges trop jeunes si non pris en compte)

Traitement chimique: EOST (Strasbourg)

Mesure AMS: CEREGE

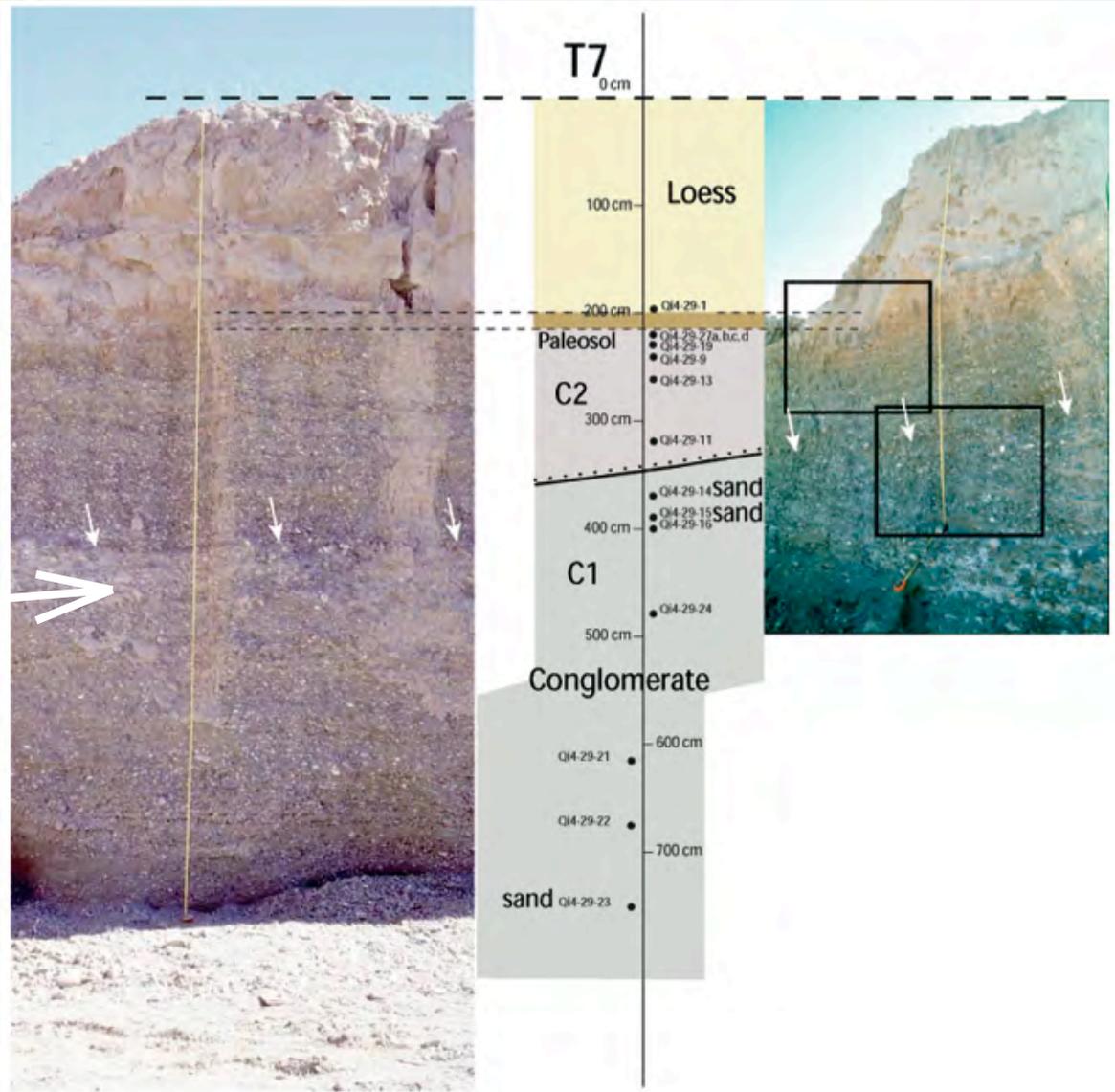


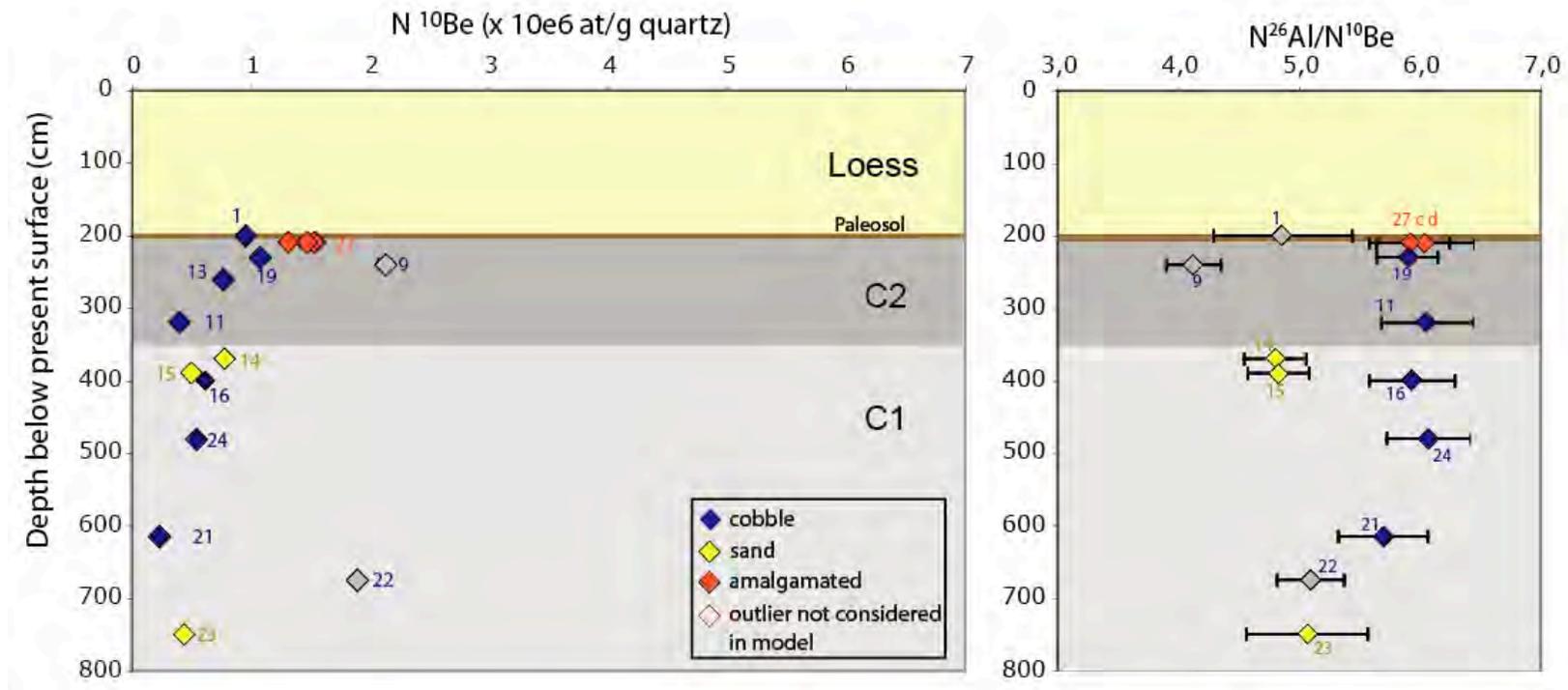
T7,



E W

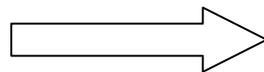
16 échantillons <sup>10</sup>Be et  
13 échantillons <sup>26</sup>Al



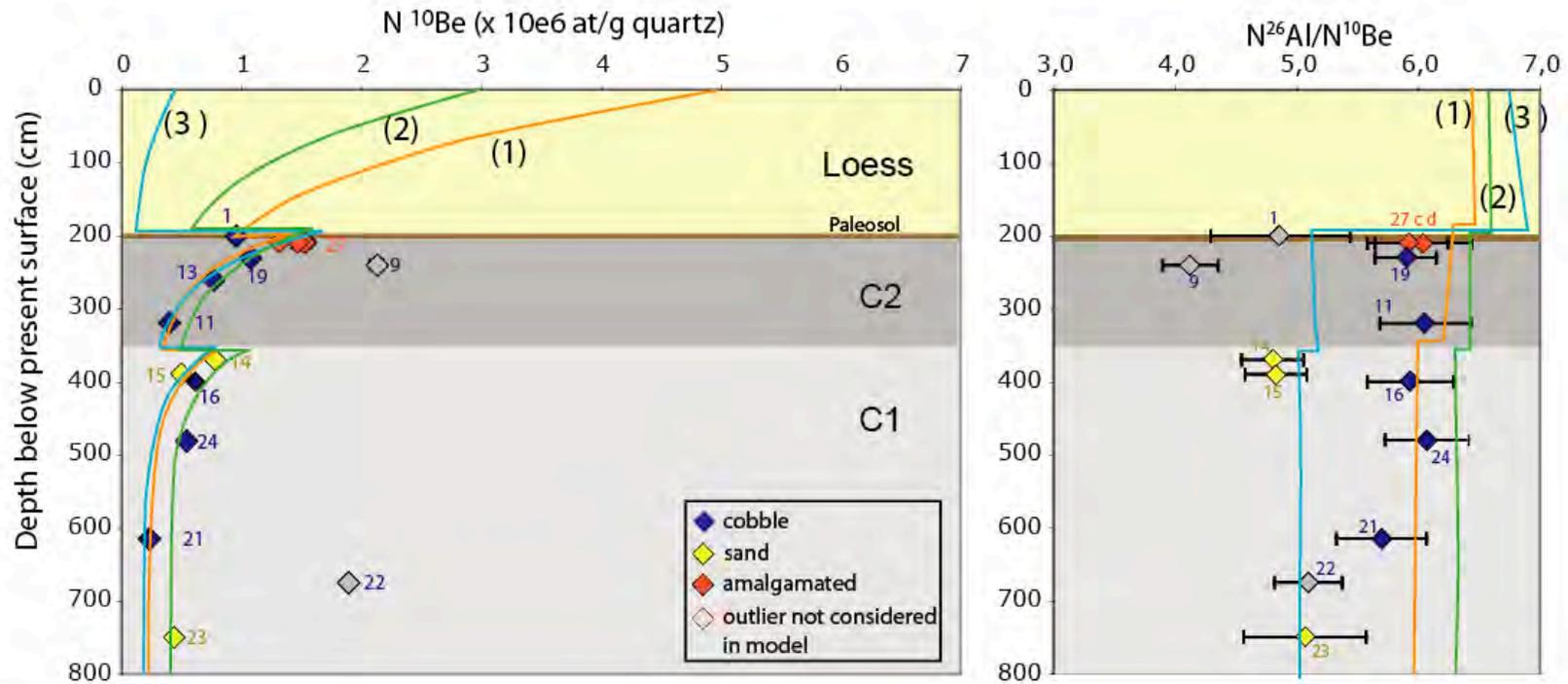


Paramètres inconnus:

- Héritage
- Exposition de C1
- Exposition de C2
- Âge du loess
- Taux d'érosion



Modèles directs



### Paramètres inconnus:

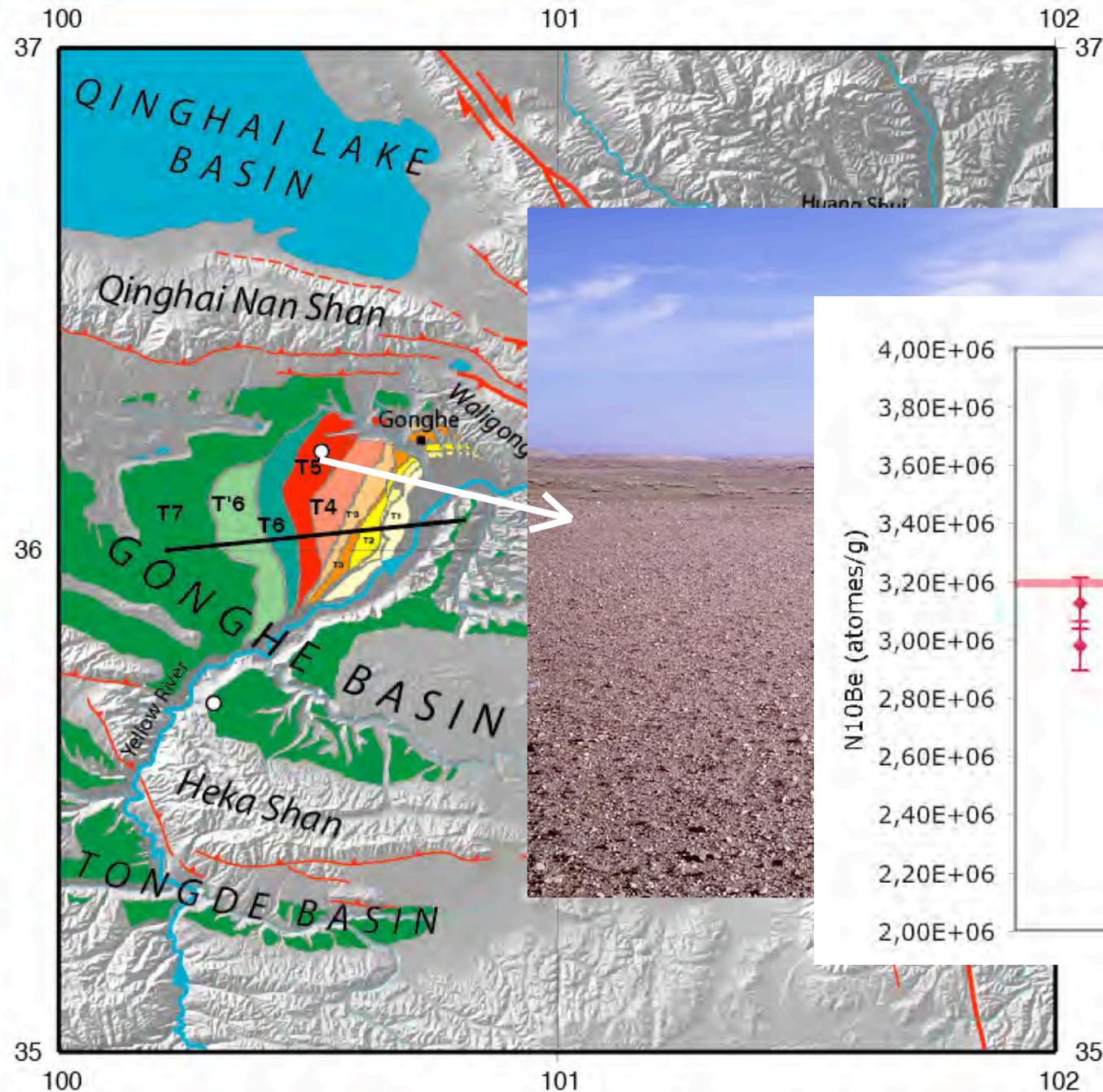
- Héritage
- Exposition de C1
- Exposition de C2
- Âge du loess
- Taux d'érosion

### Durées totales d'exposition possibles:

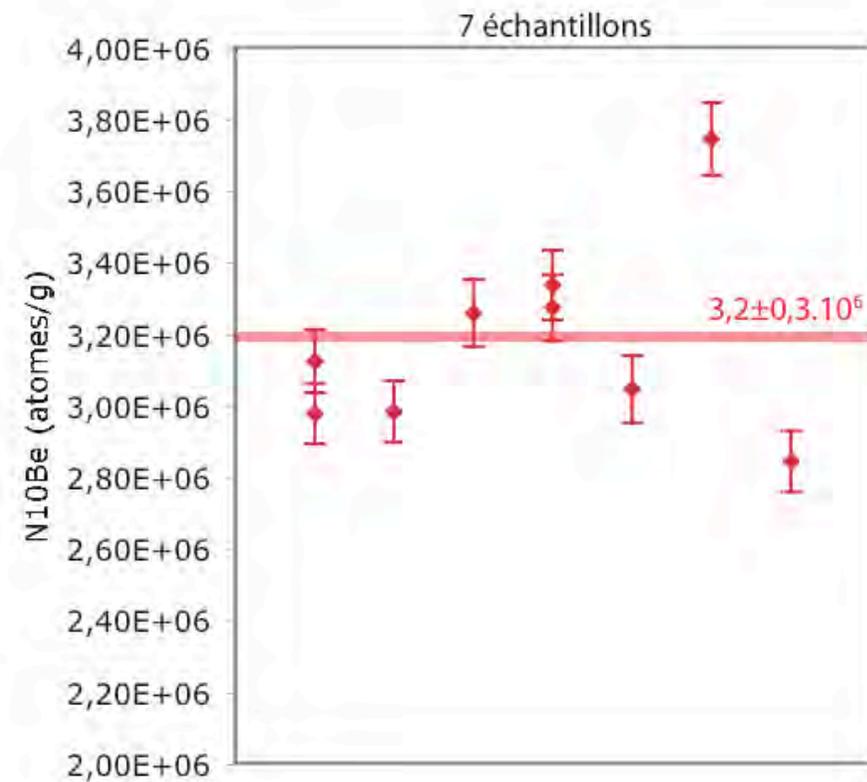
- (1) 210 ka (préféré: meilleur accord avec les données)
- (2) 115 ka (plus jeune possible: expositions de C2 et du loess très faibles)
- (3) 465 ka (plus vieux possible:  rosion et exposition du loess très grandes)

T5

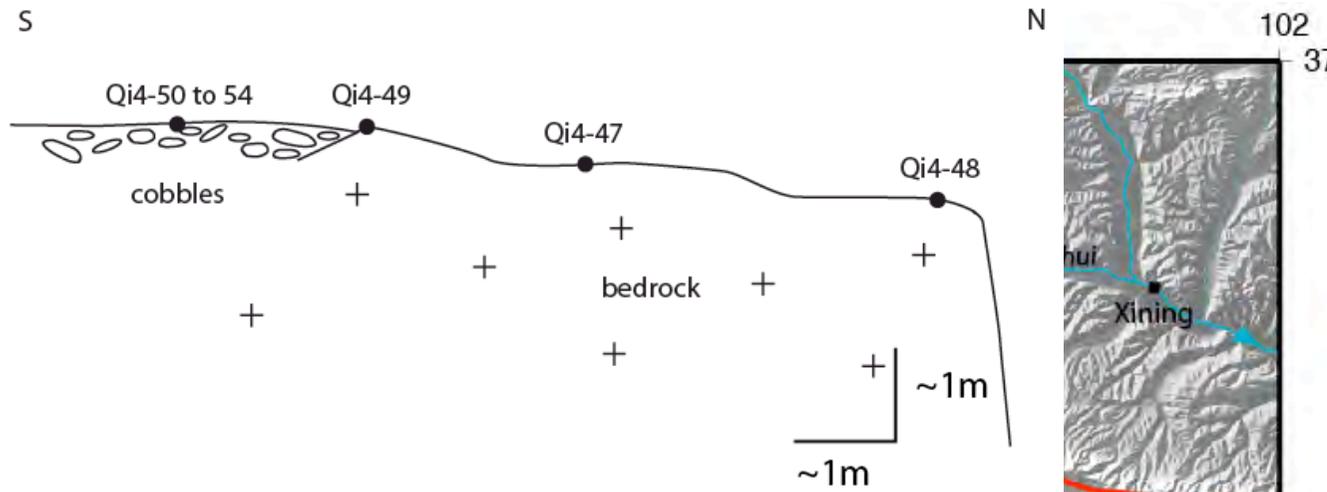




# T5

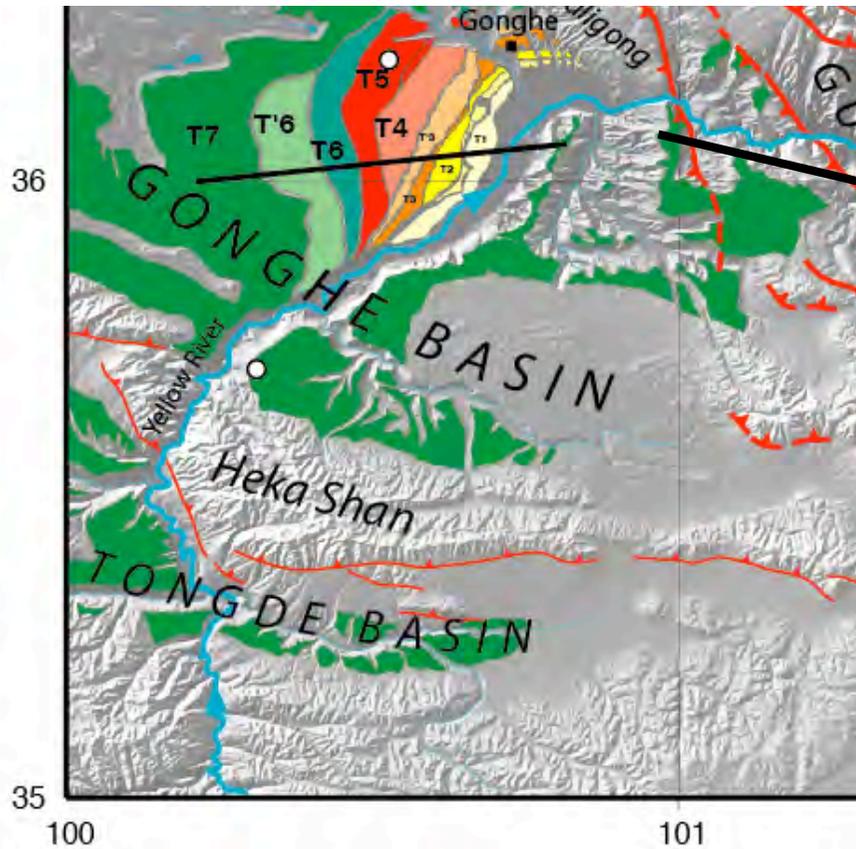


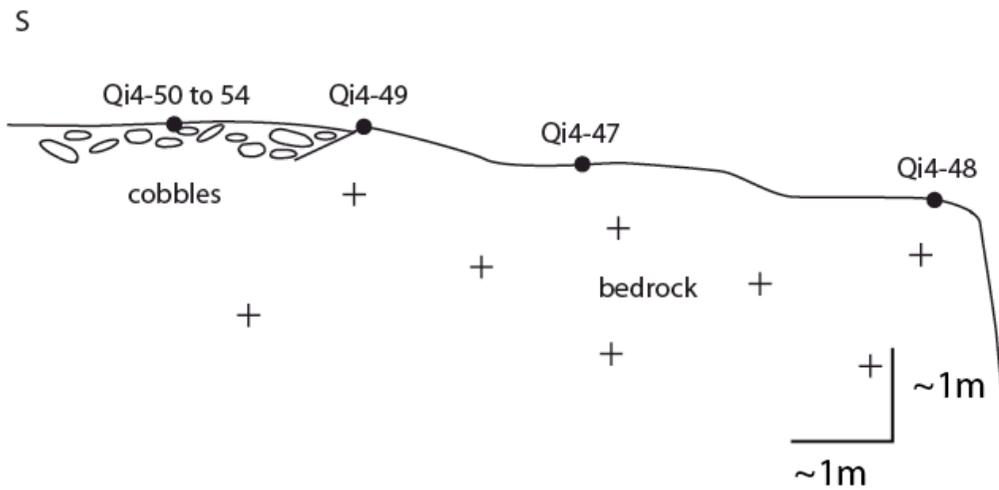
$106 \pm 6$  ka  
(âge minimum)



# Waligong rive droite

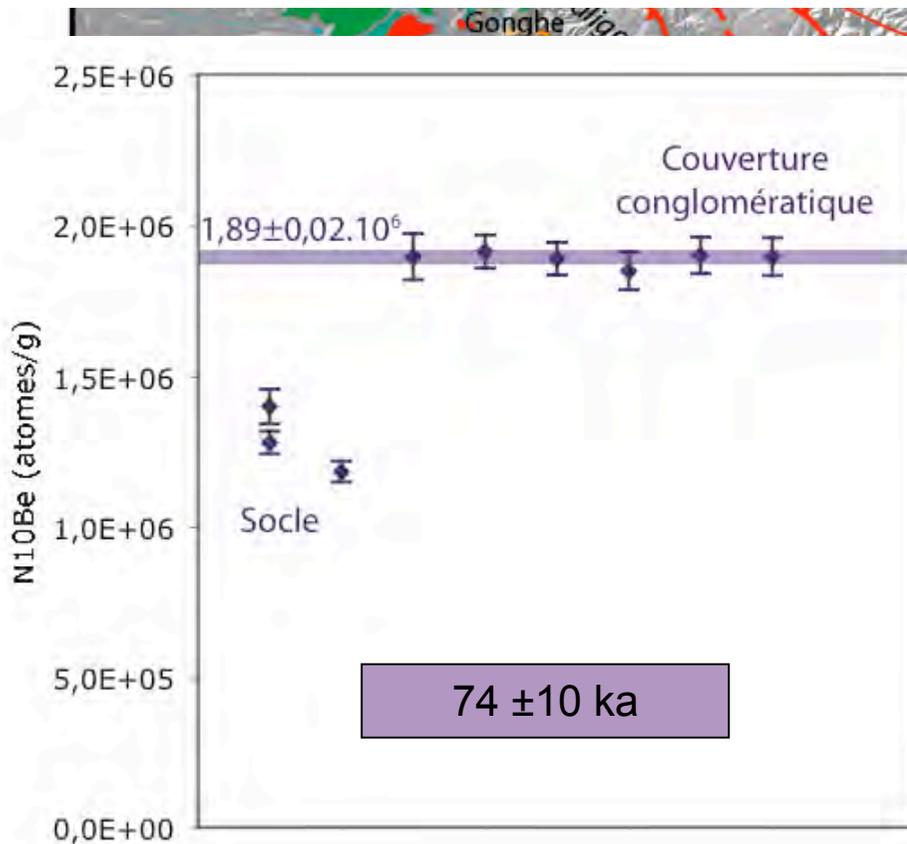
2680 m





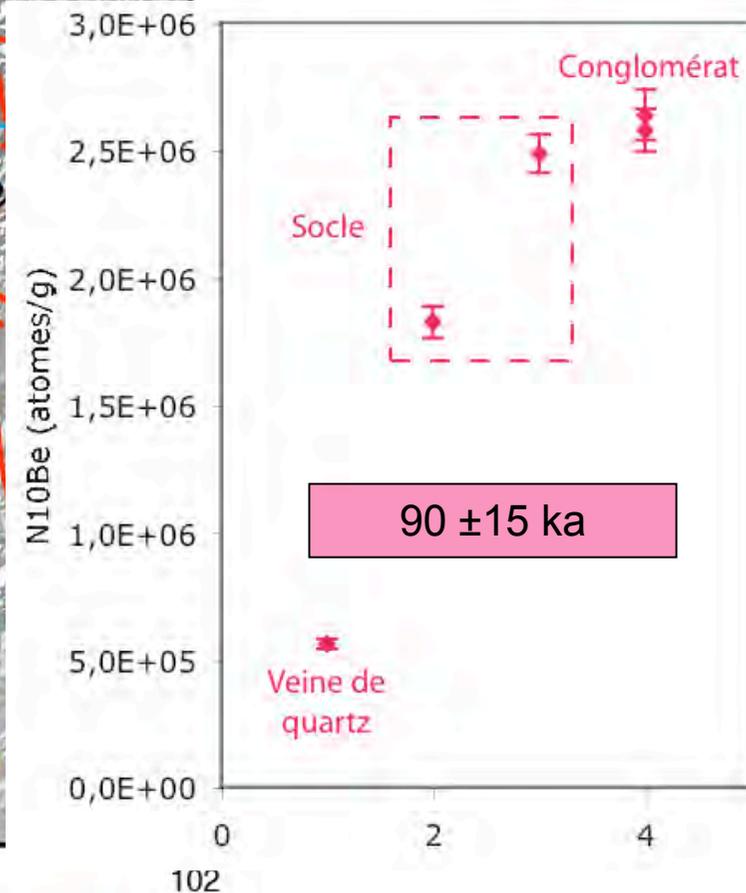
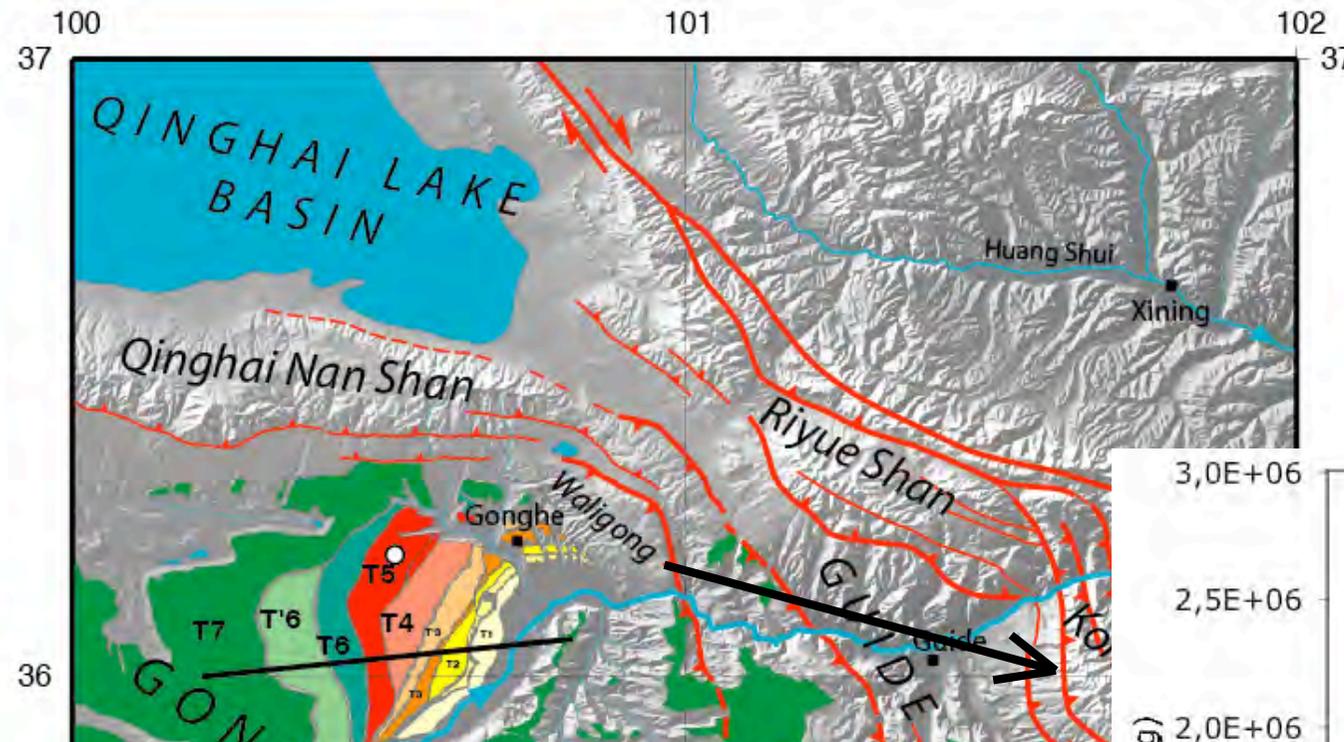
# Waligong rive droite

2680 m



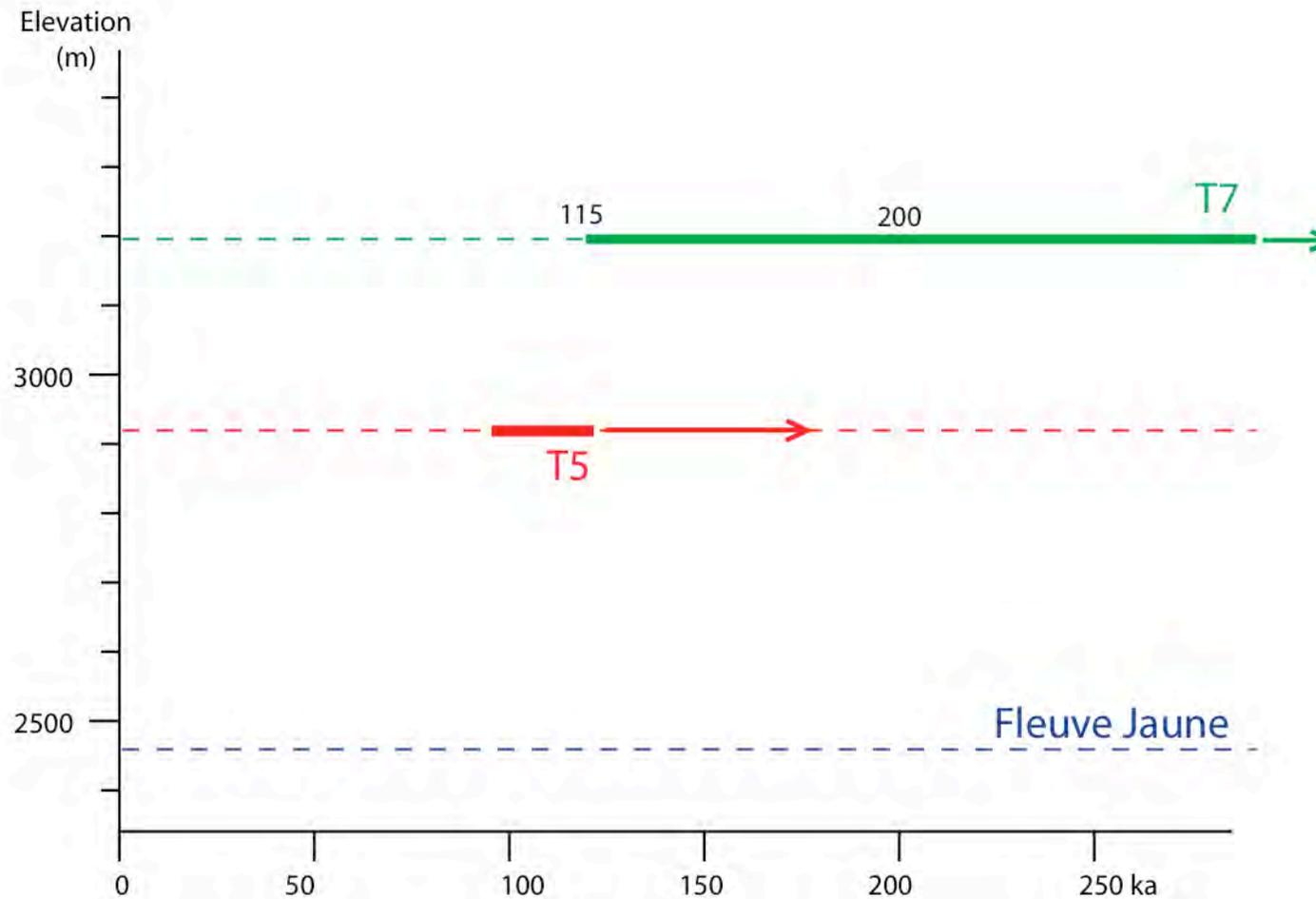
# Waligong rive gauche

2930 m



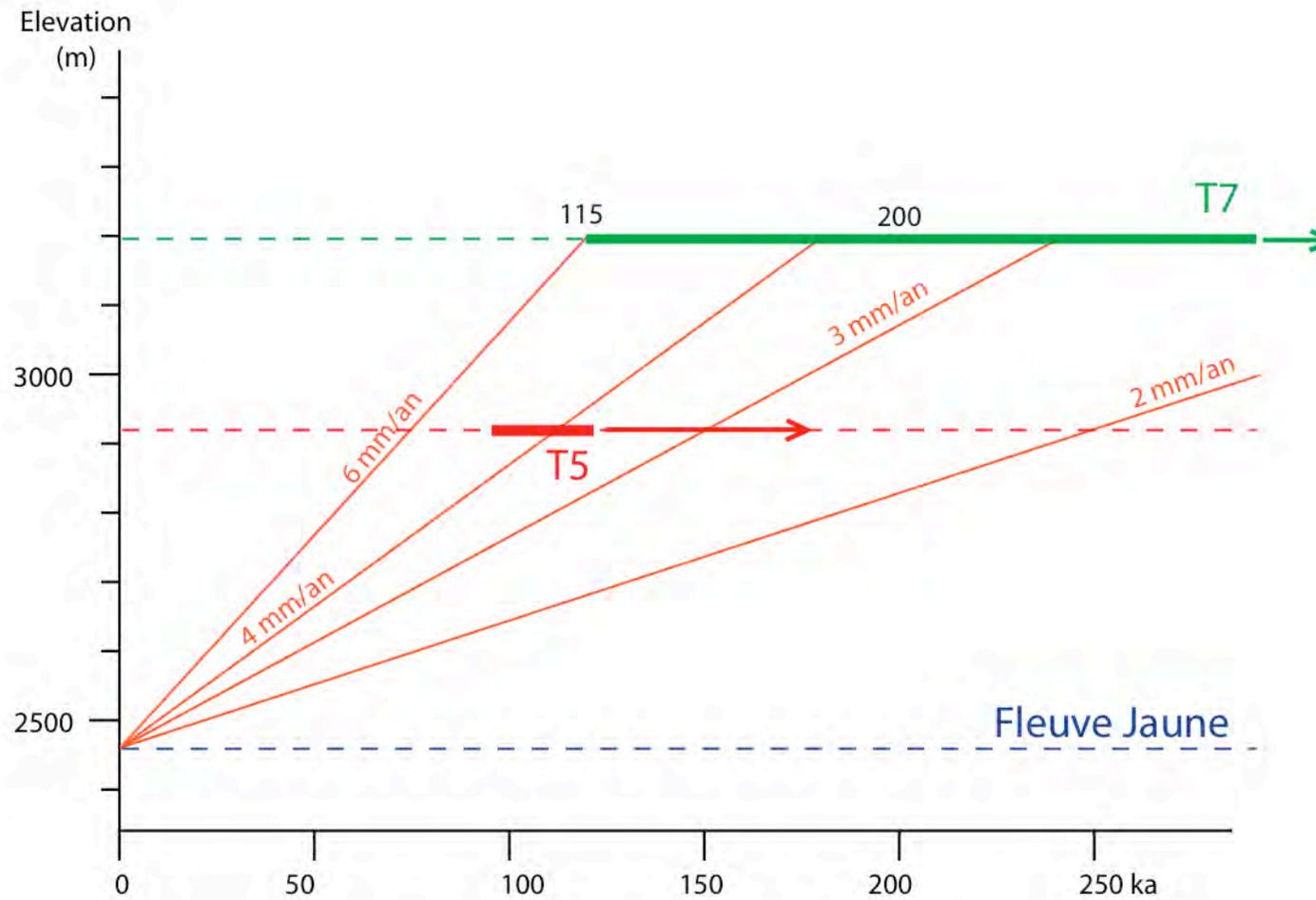
# Incision du Fleuve Jaune

dans le bassin



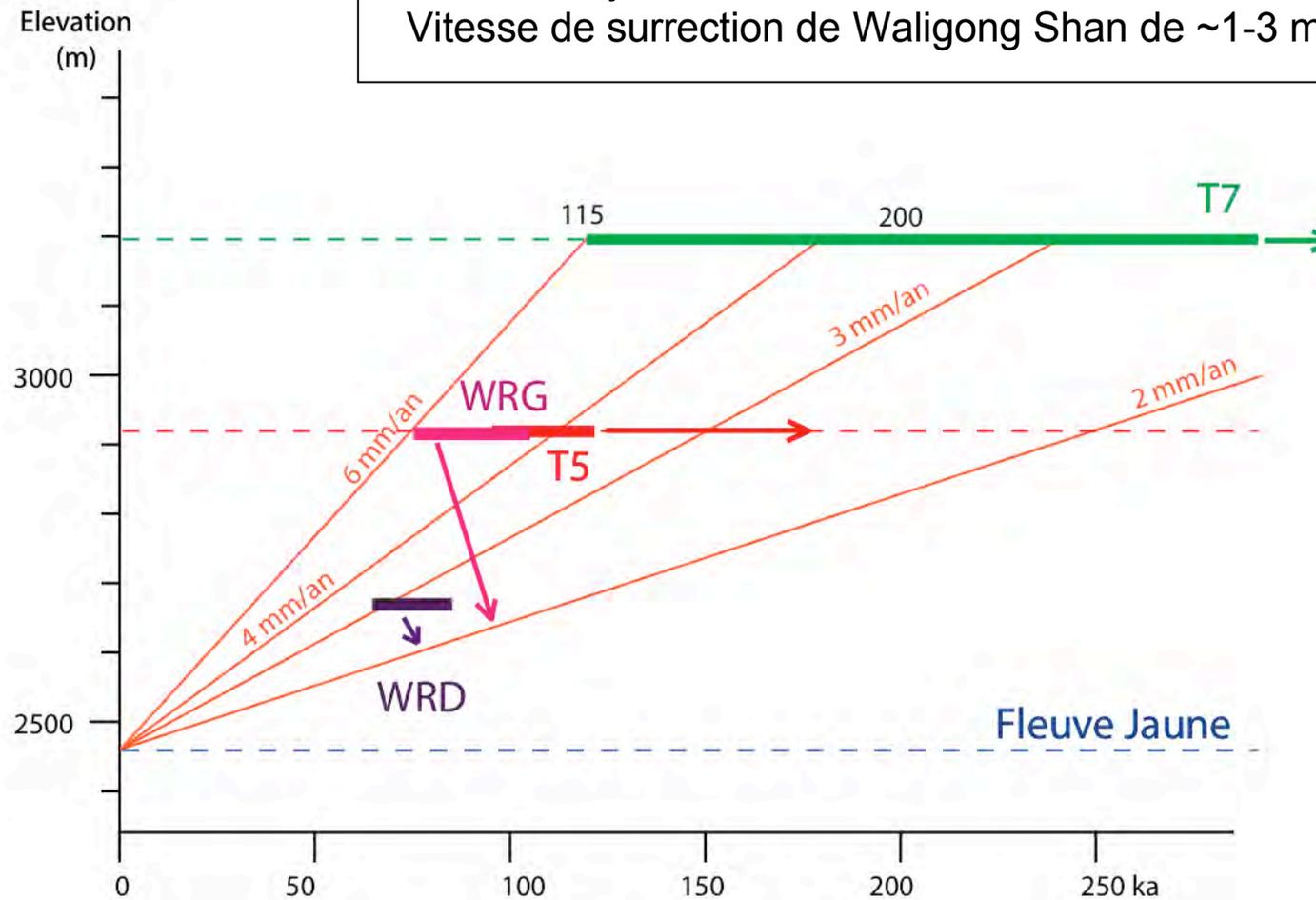
# Incision du Fleuve Jaune

dans le bassin



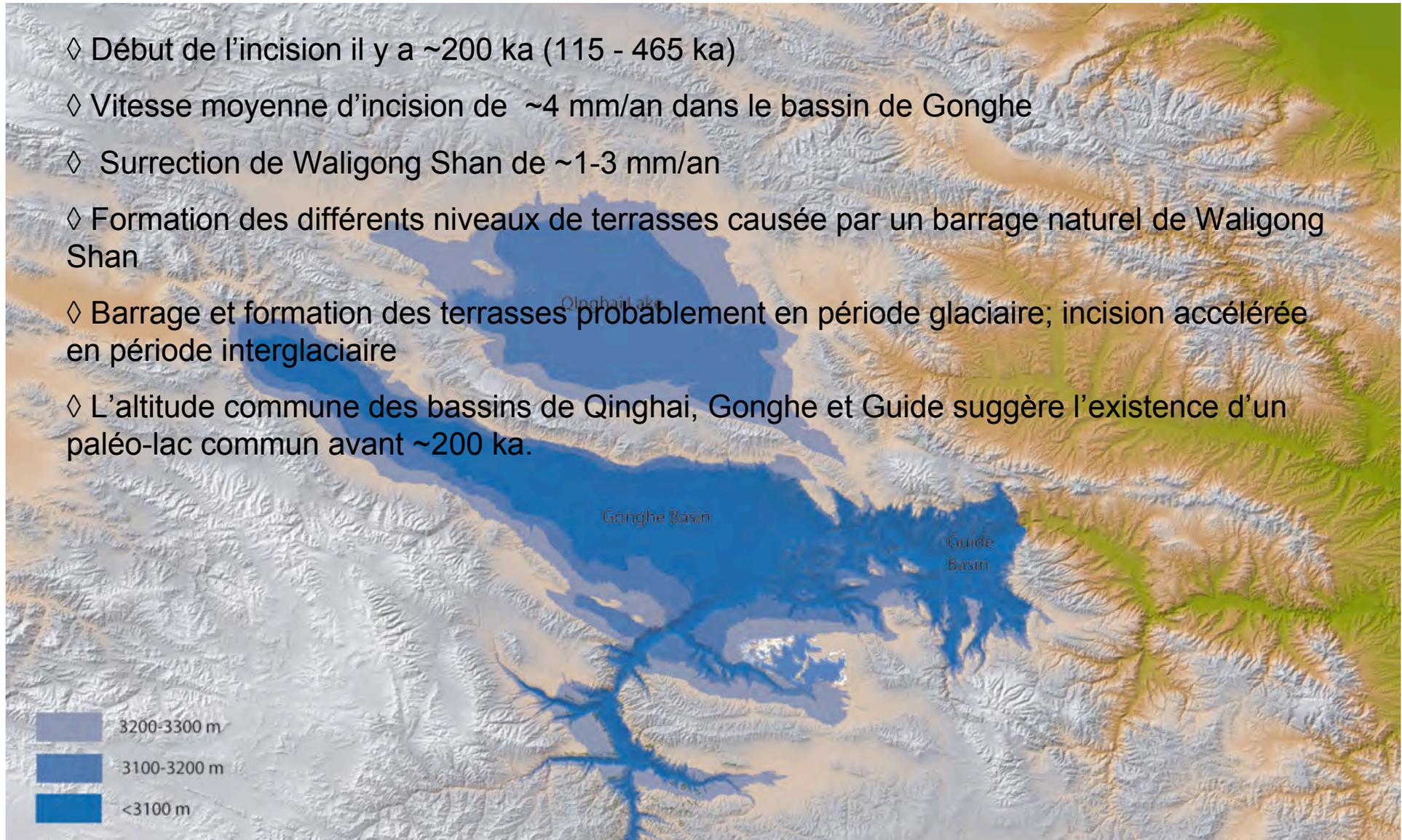
# Incision du Fleuve Jaune

À Waligong



## Conclusion

- ◇ Début de l'incision il y a ~200 ka (115 - 465 ka)
- ◇ Vitesse moyenne d'incision de ~4 mm/an dans le bassin de Gonghe
- ◇ Surrection de Waligong Shan de ~1-3 mm/an
- ◇ Formation des différents niveaux de terrasses causée par un barrage naturel de Waligong Shan
- ◇ Barrage et formation des terrasses probablement en période glaciaire; incision accélérée en période interglaciaire
- ◇ L'altitude commune des bassins de Qinghai, Gonghe et Guide suggère l'existence d'un paléo-lac commun avant ~200 ka.

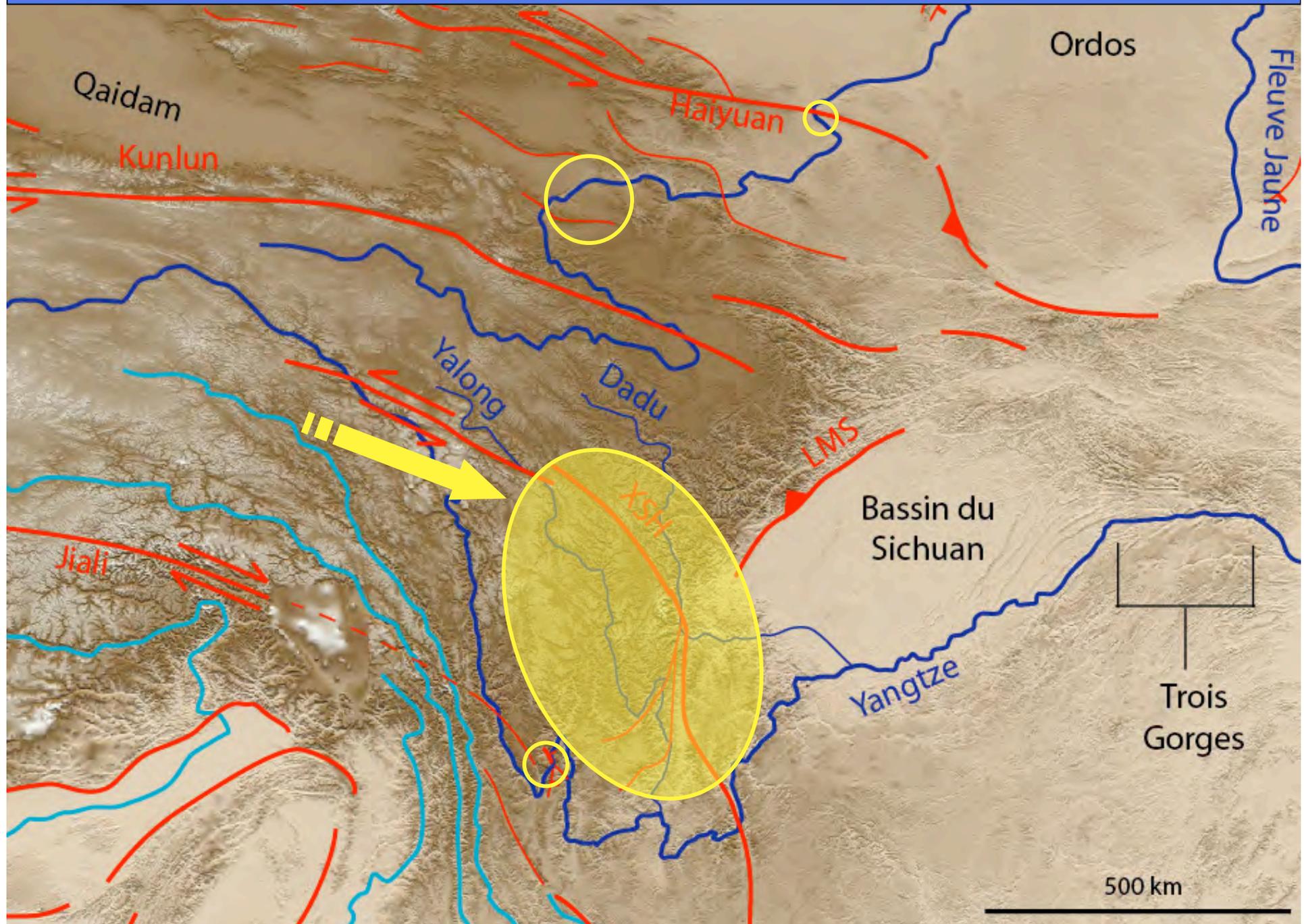


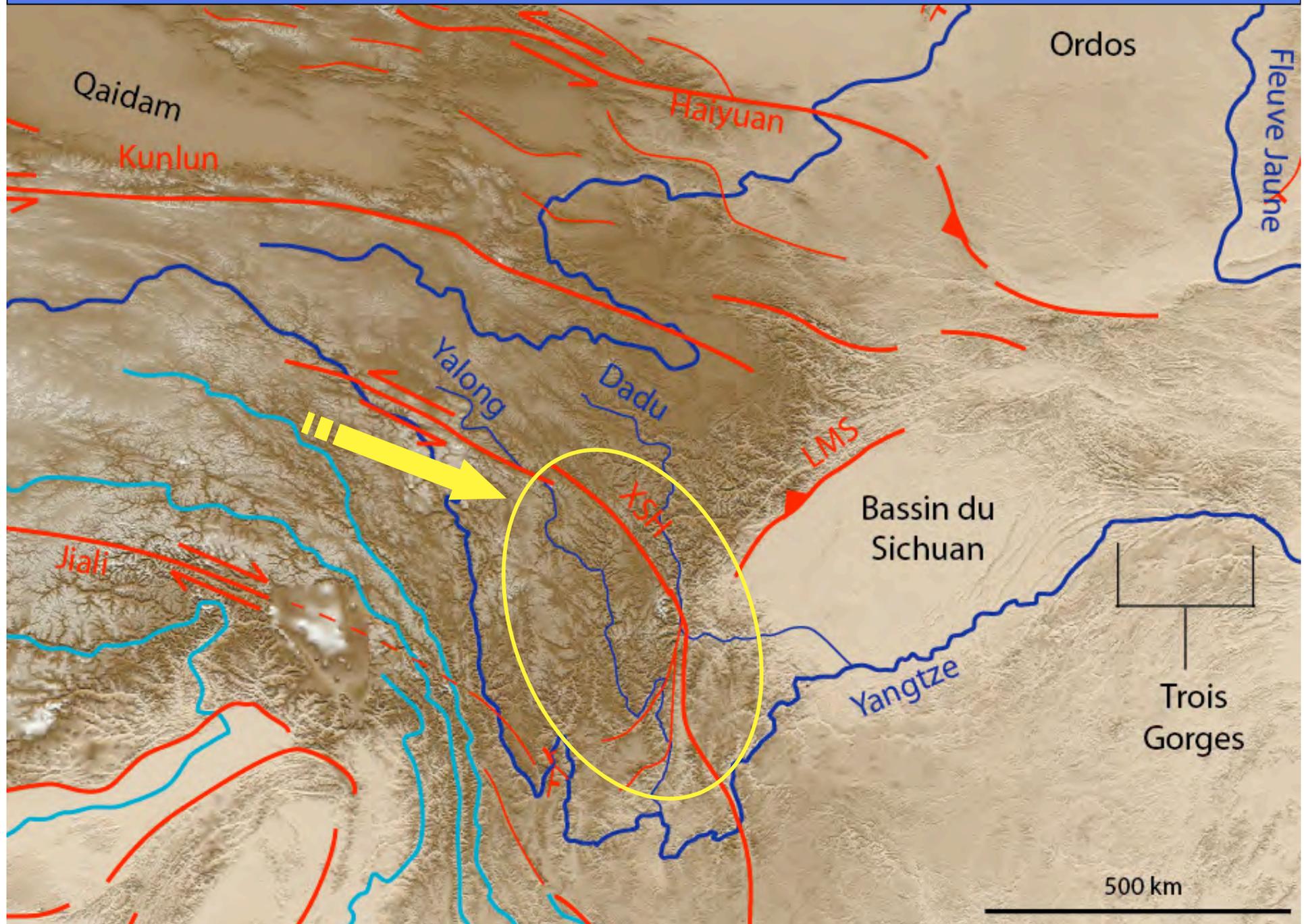
1.

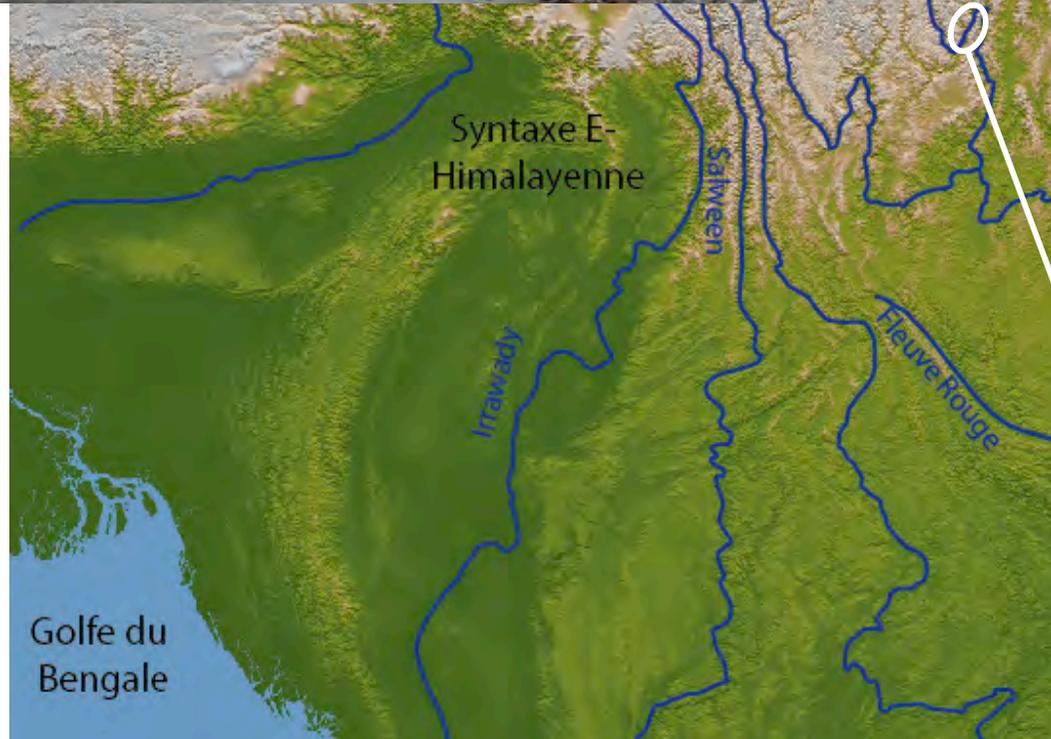
Mécanisme de propagation des fleuves vers  
l'intérieur du plateau

1.2

L'incision de la marge SE et ses liens possibles avec la  
croissance du plateau

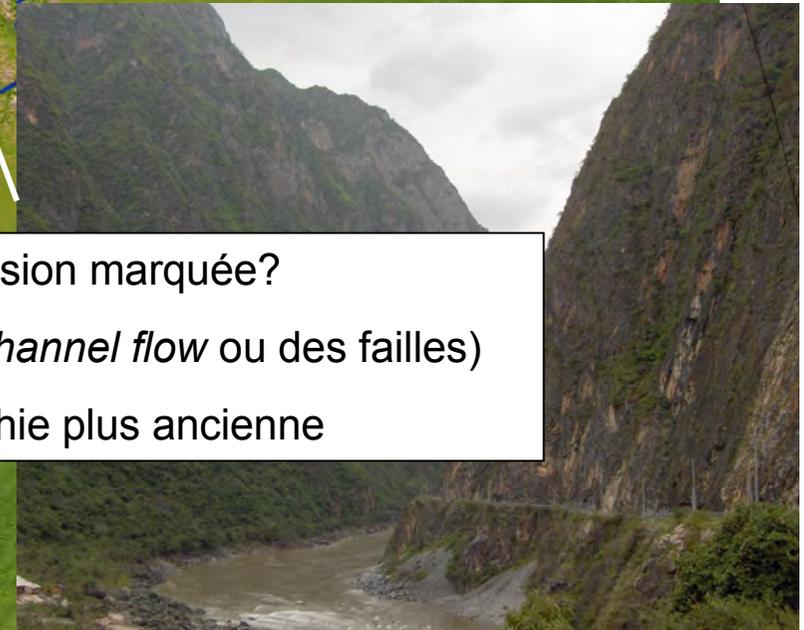








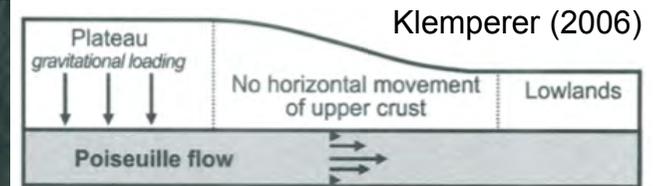
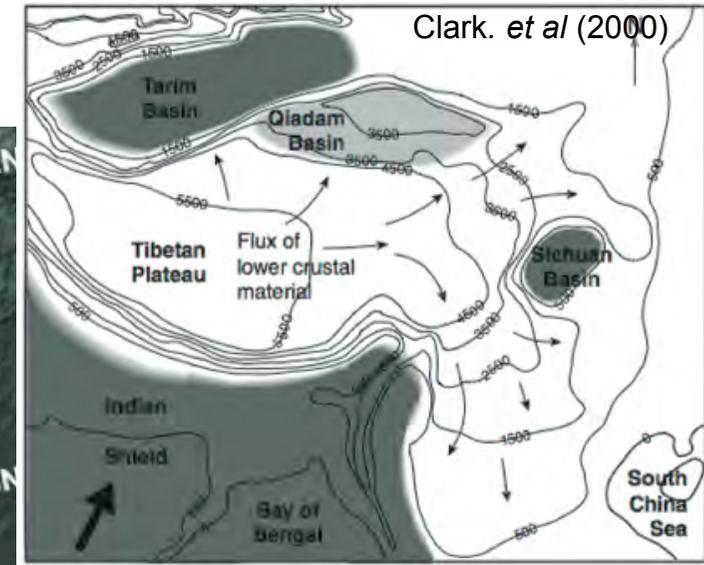
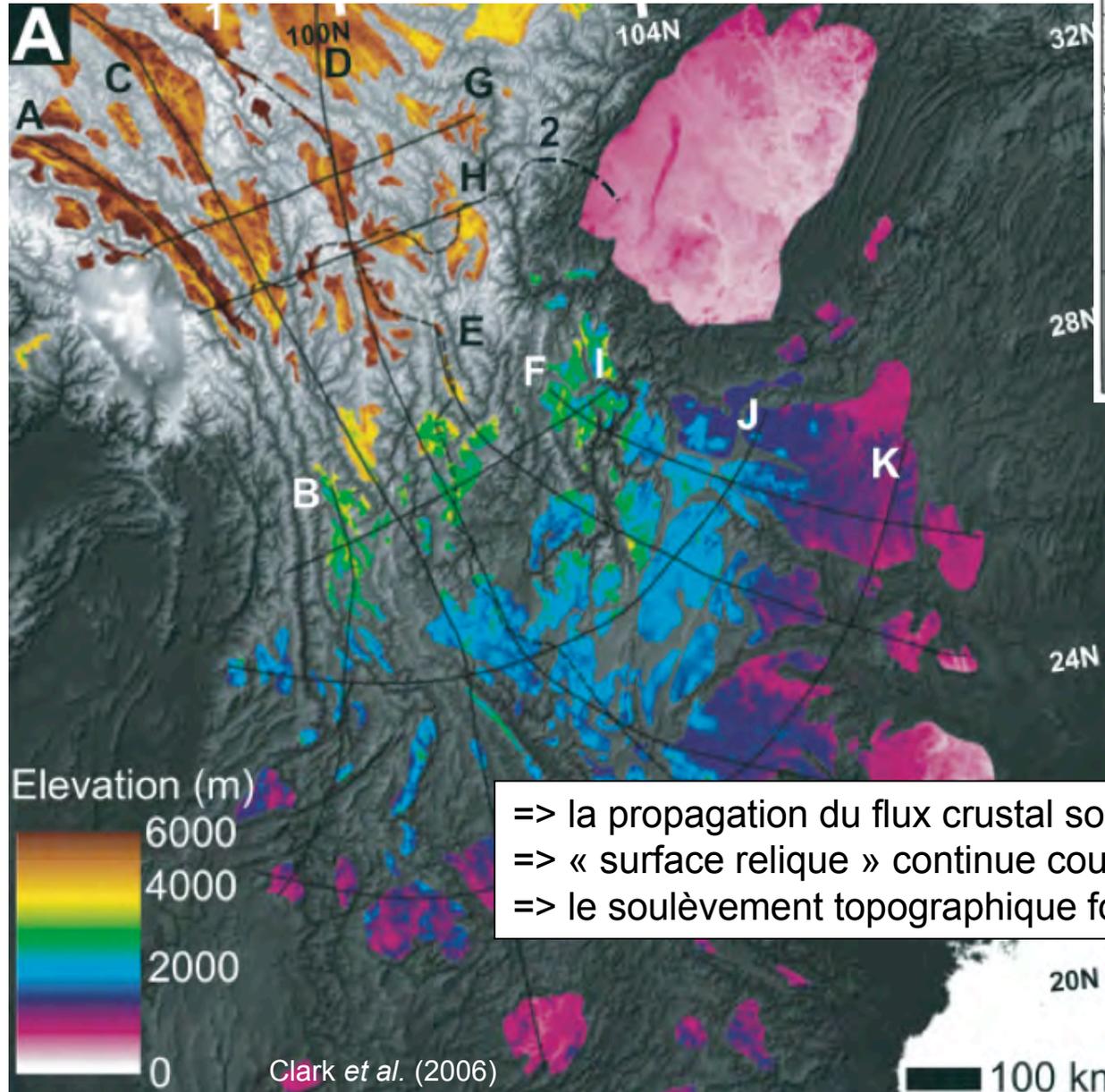
Une profonde incision fluviale à travers la marge



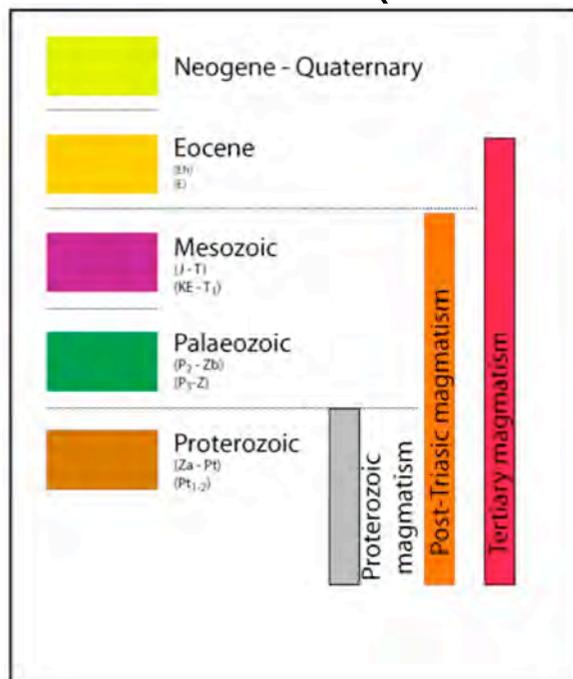
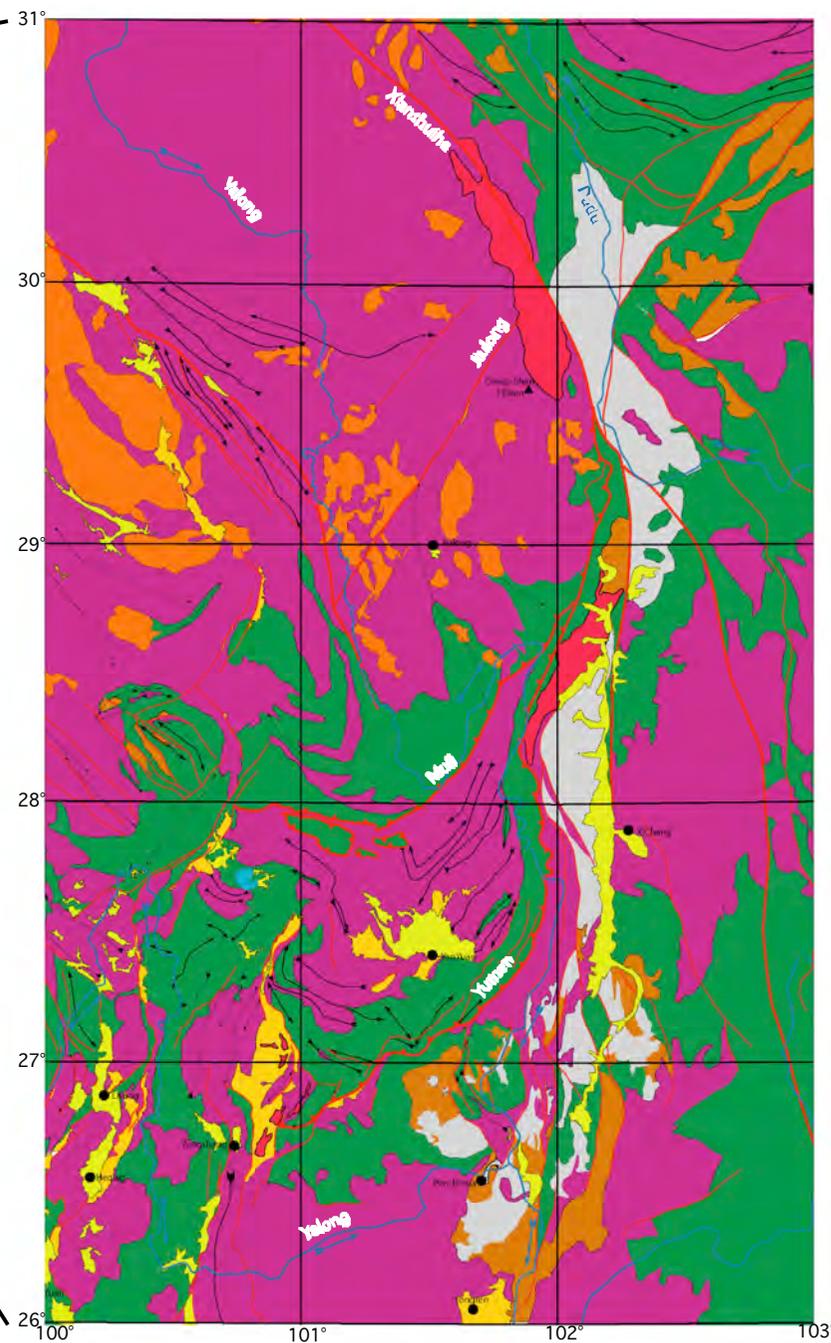
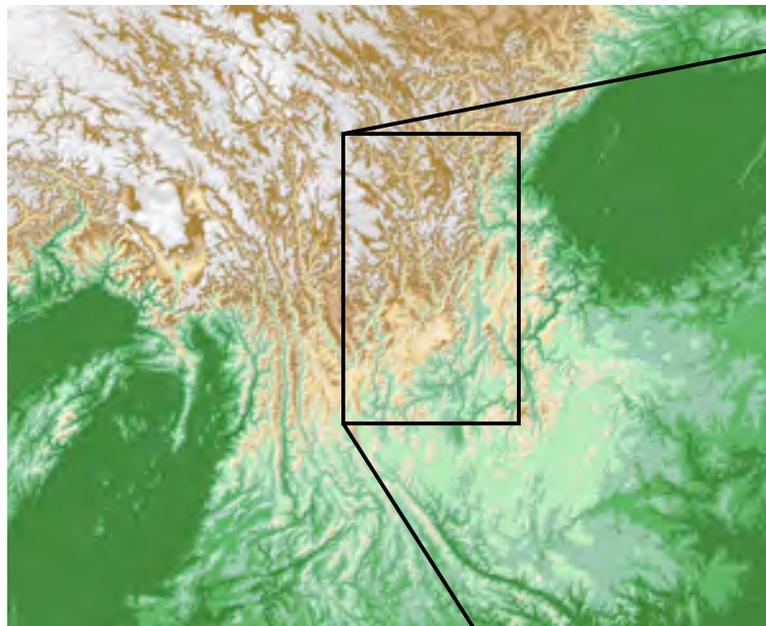
Quel mécanisme est à l'origine de cette incision marquée?

- une phase récente de construction du plateau (par le *channel flow* ou des failles)
- une vague d'érosion régressive à travers une topographie plus ancienne

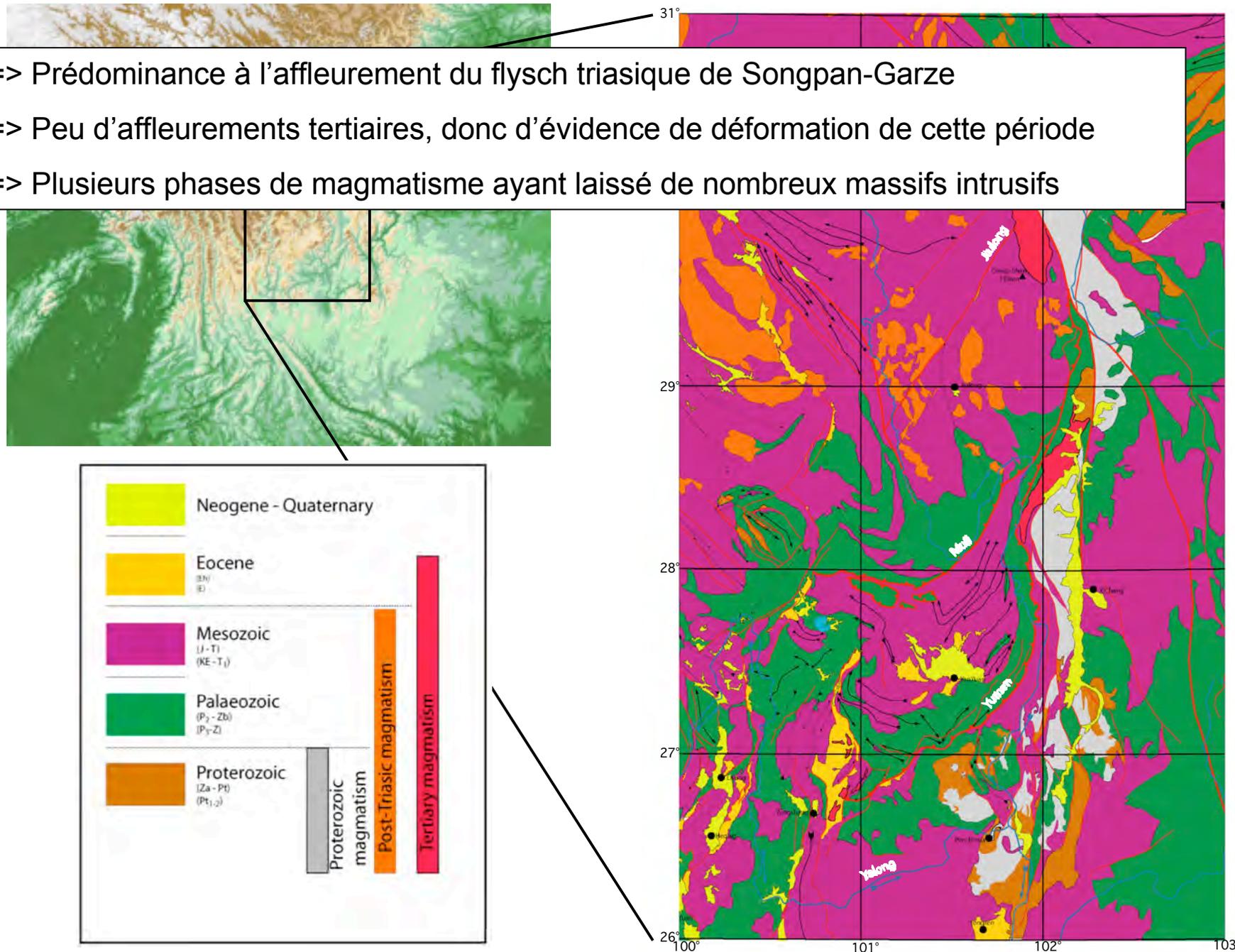


Interprétation des modèles de *Channel flow*

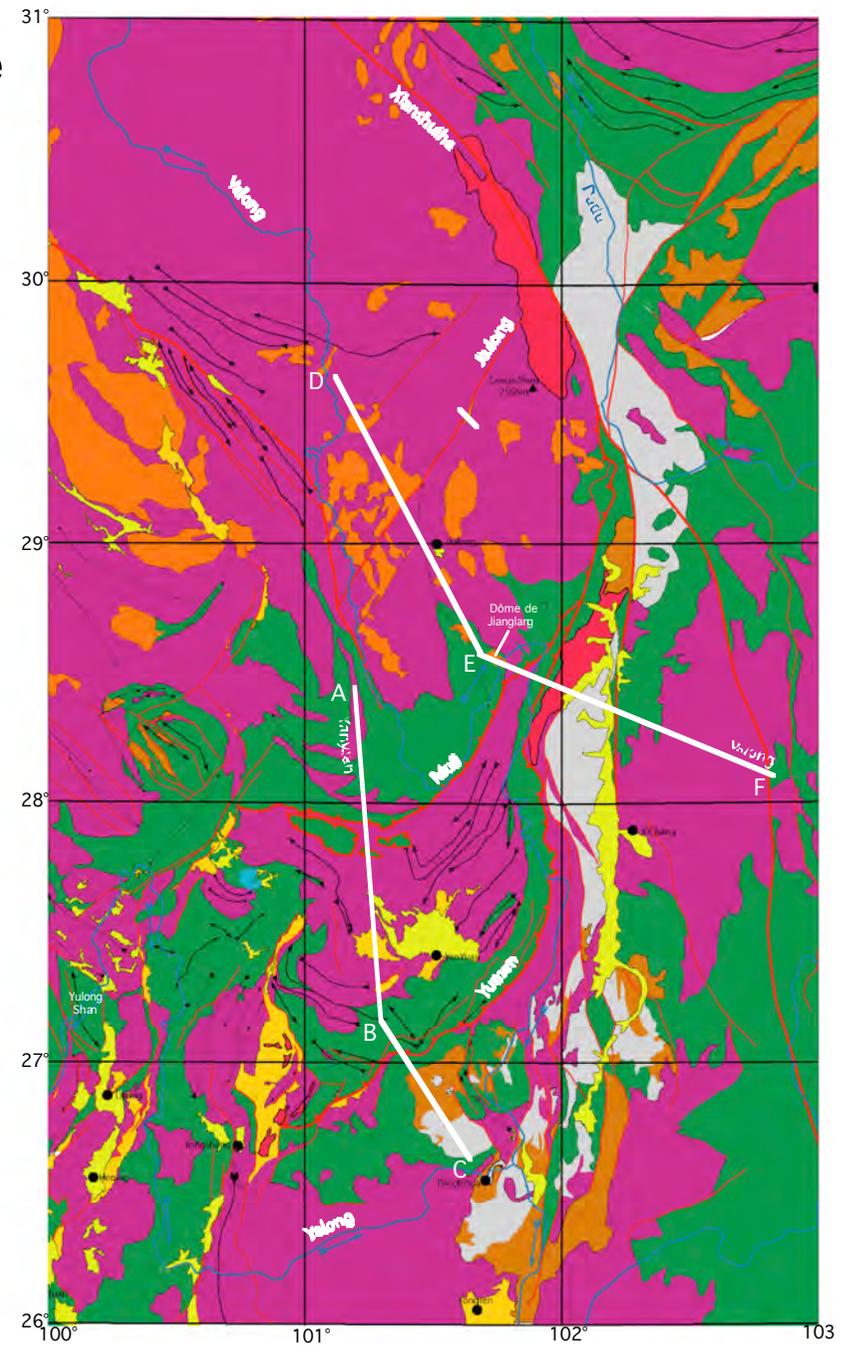
=> la propagation du flux crustal soulève la surface topographique  
 => « surface relique » continue couvrant toute la marge  
 => le soulèvement topographique force les rivières à inciser



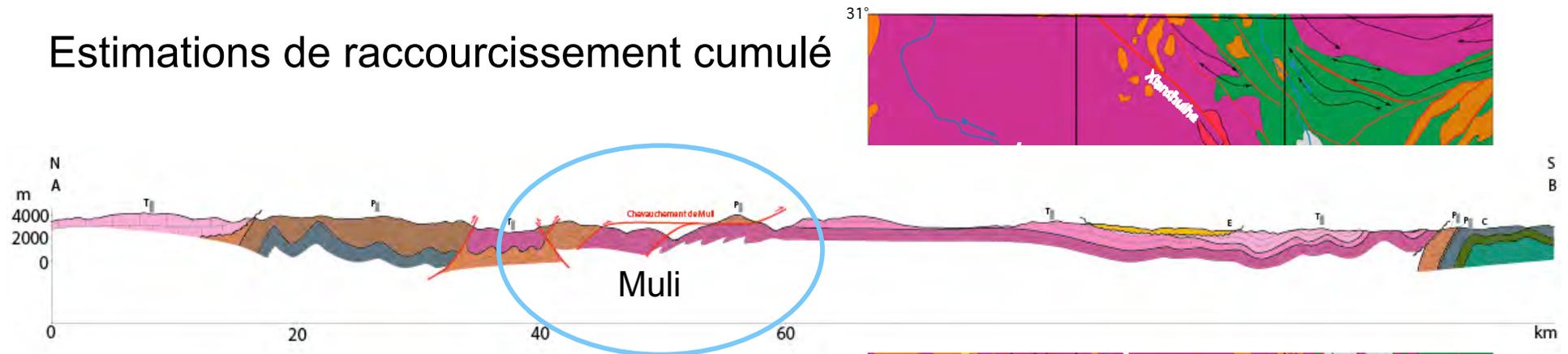
- => Prédominance à l'affleurement du flysch triasique de Songpan-Garze
- => Peu d'affleurements tertiaires, donc d'évidence de déformation de cette période
- => Plusieurs phases de magmatisme ayant laissé de nombreux massifs intrusifs



## Estimations de raccourcissement cumulé

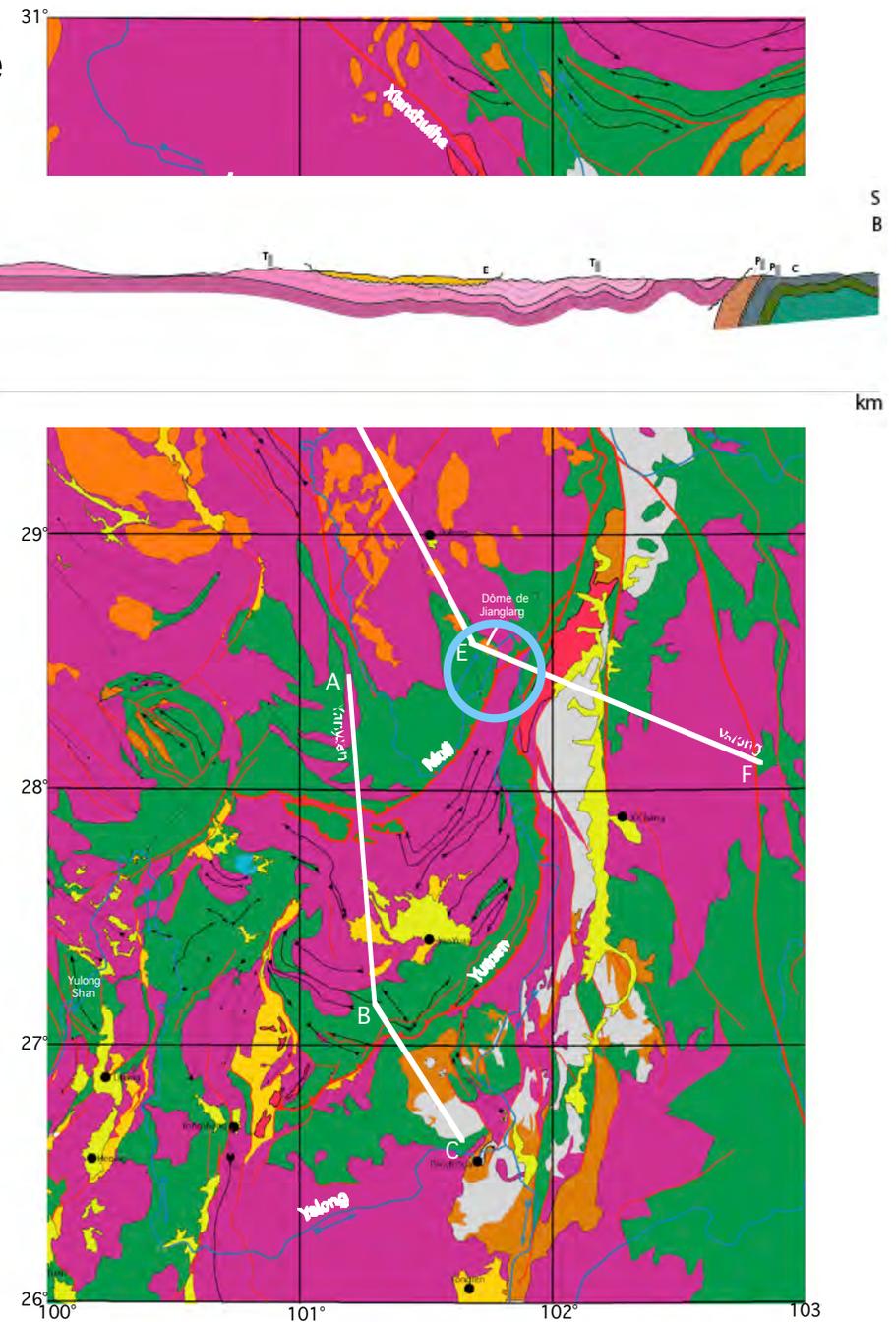


## Estimations de raccourcissement cumulé

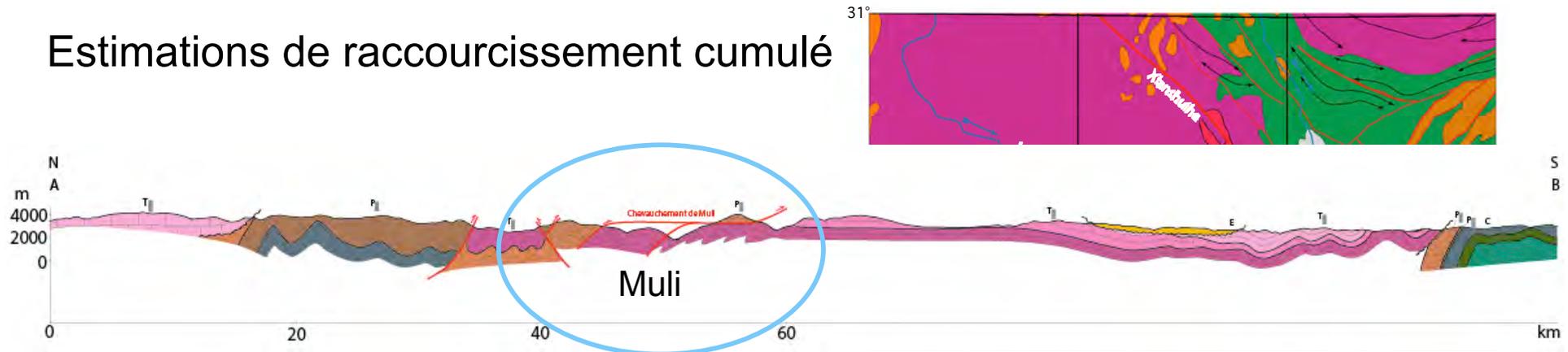


Décalage vertical: ~7 km

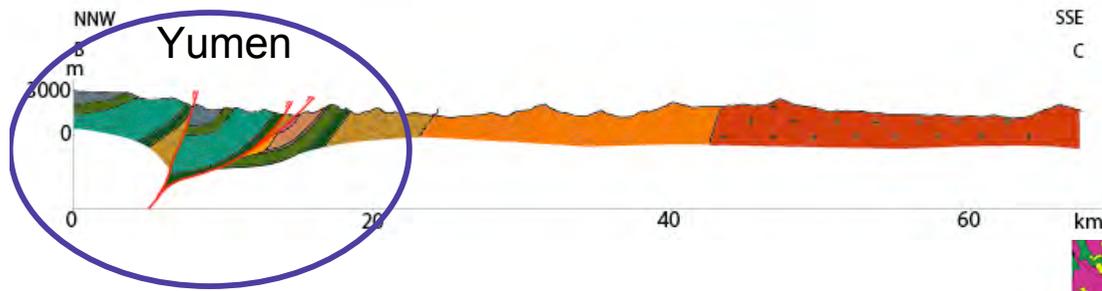
Raccourcissement horizontal: >22 km



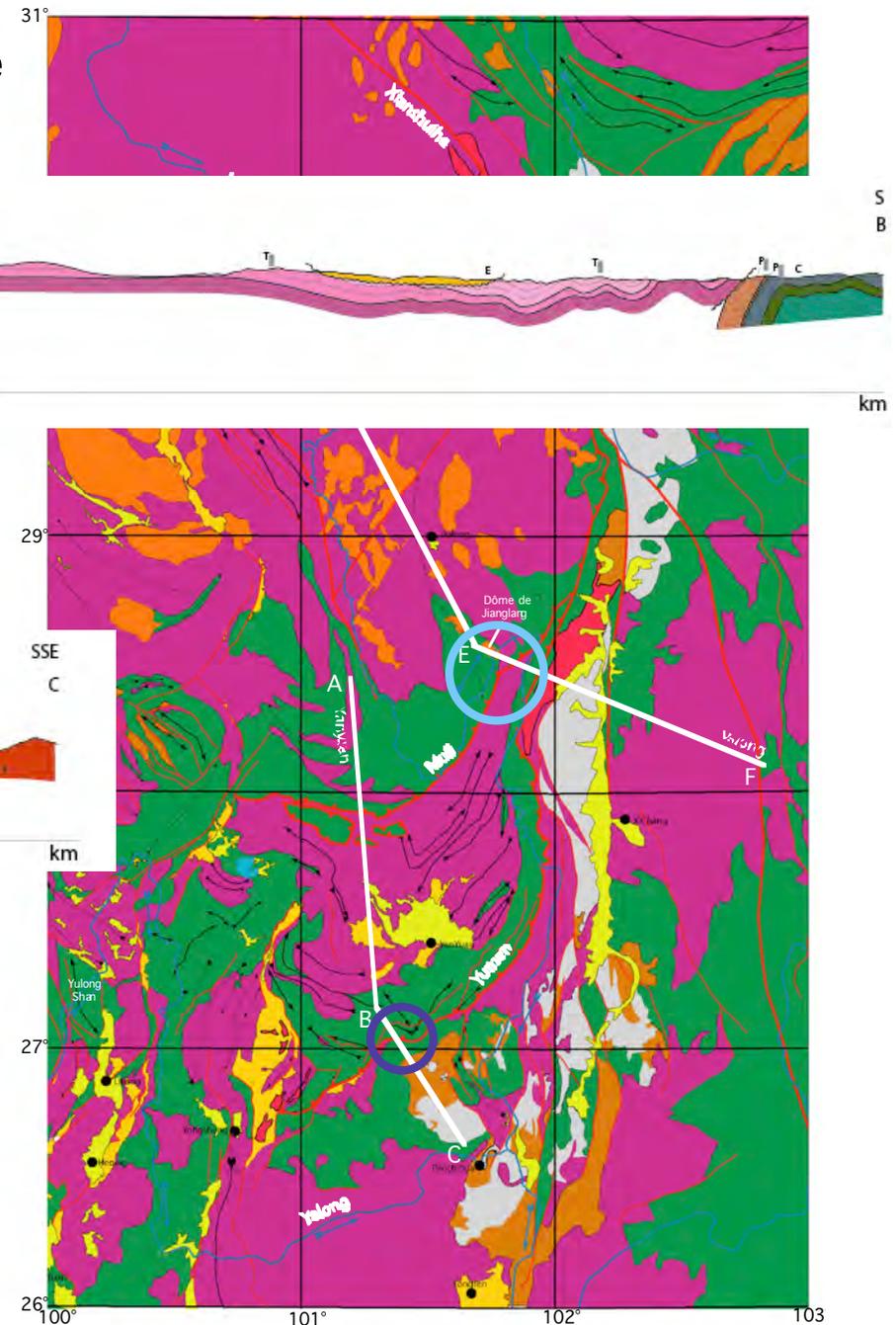
# Estimations de raccourcissement cumulé



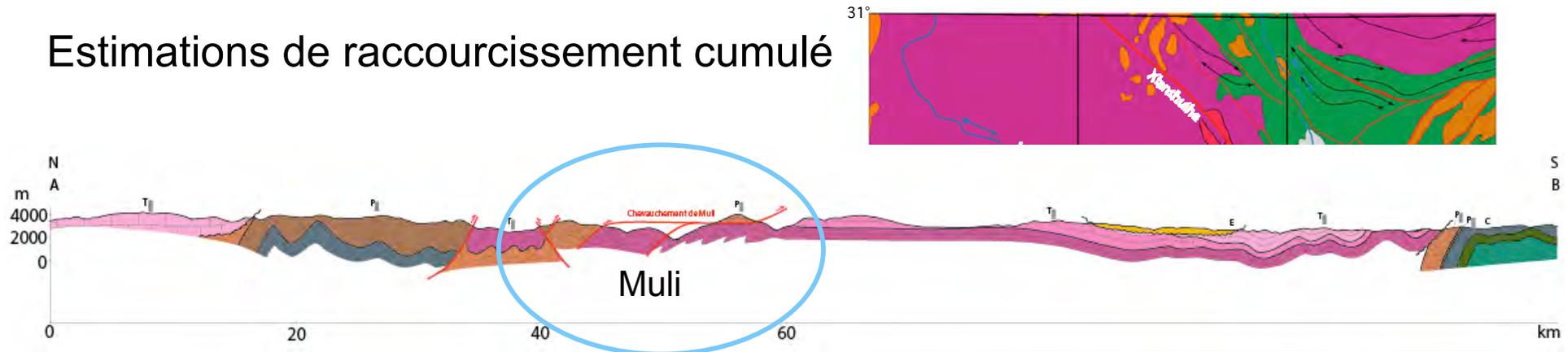
Décalage vertical: ~7 km  
 Raccourcissement horizontal: >22 km



Décalage vertical: ~11 km  
 Raccourcissement horizontal: ~12 km

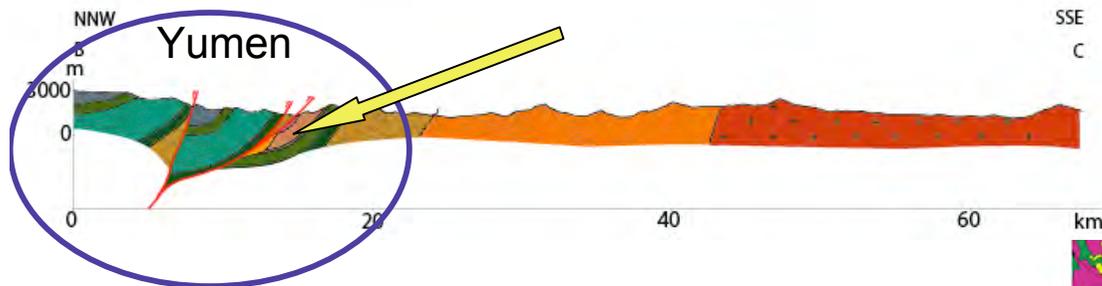


# Estimations de raccourcissement cumulé



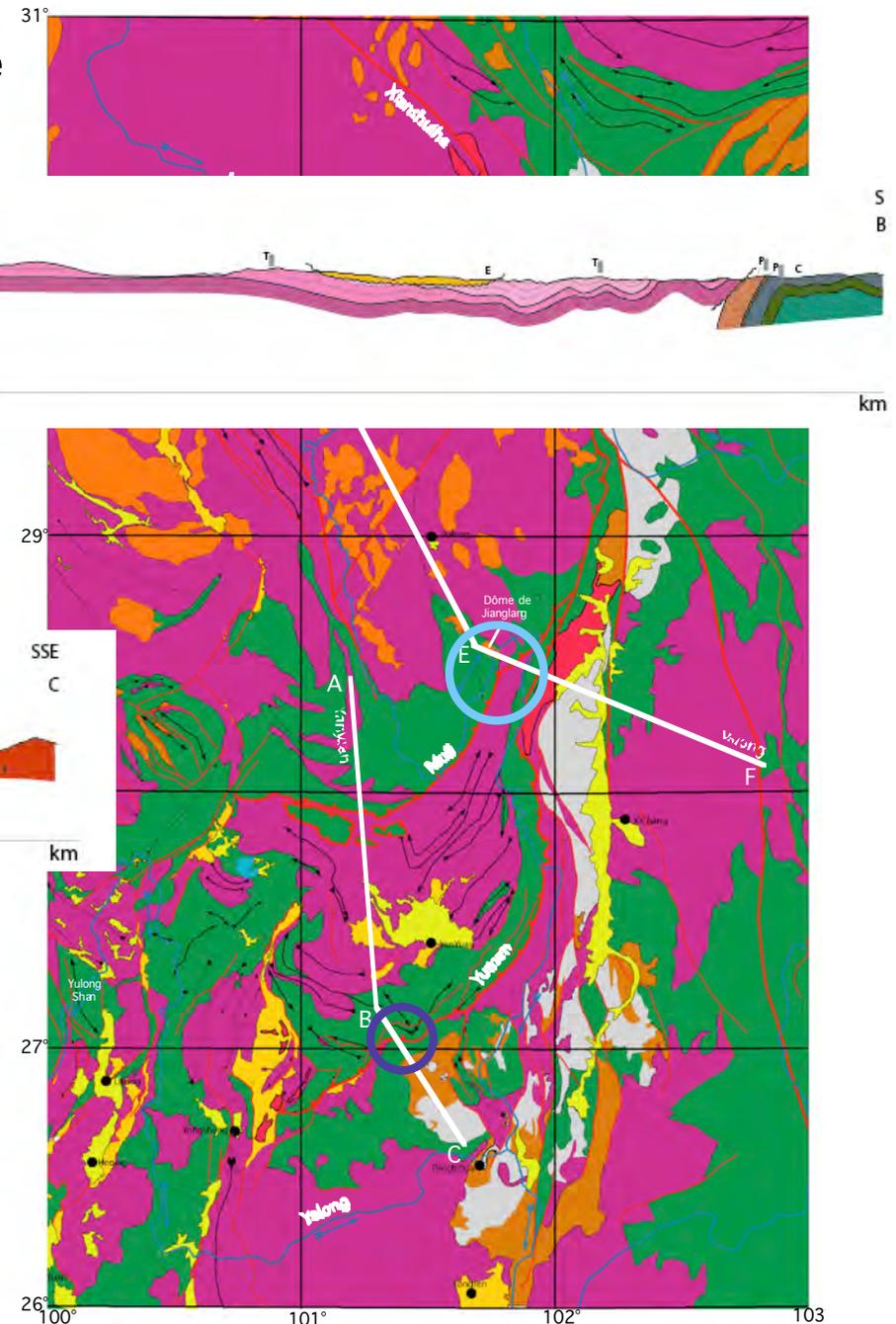
Décalage vertical: ~7 km

Raccourcissement horizontal: >22 km

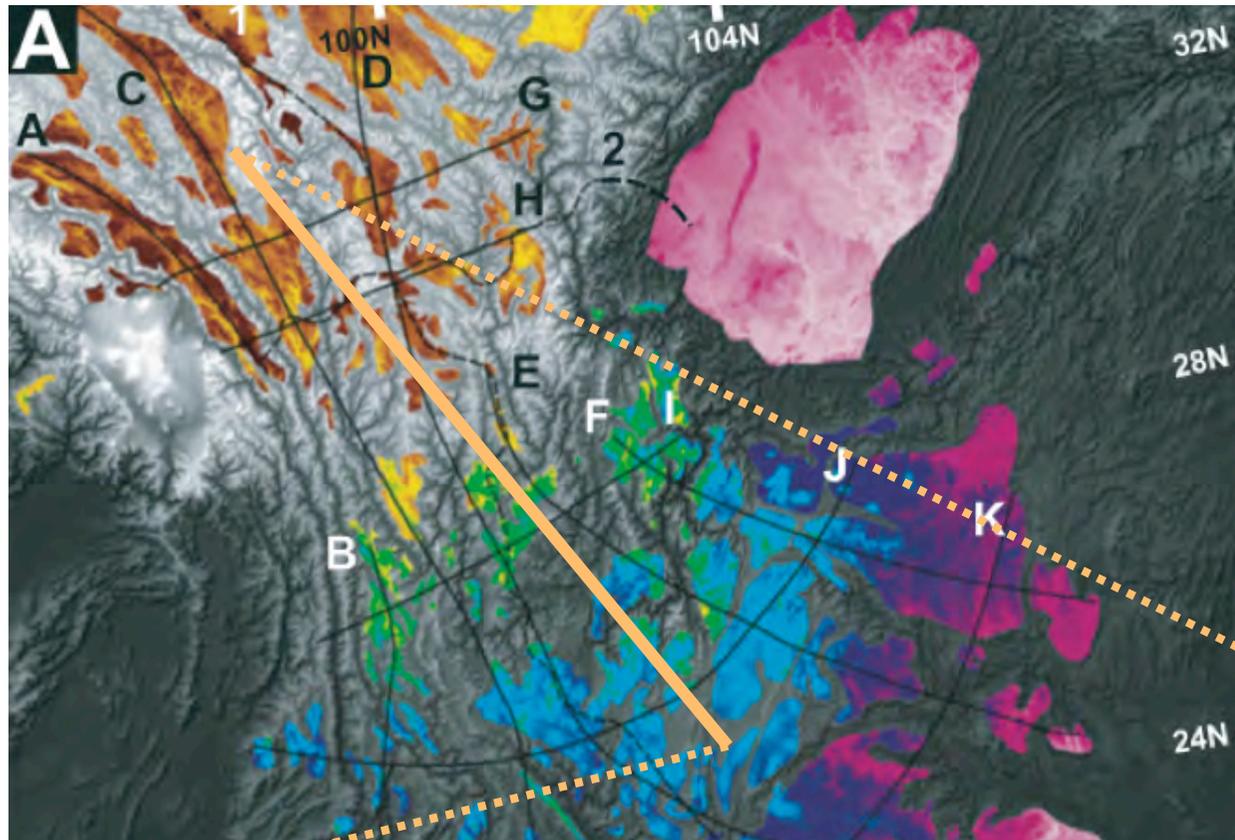


Décalage vertical: ~11 km

Raccourcissement horizontal: ~12 km



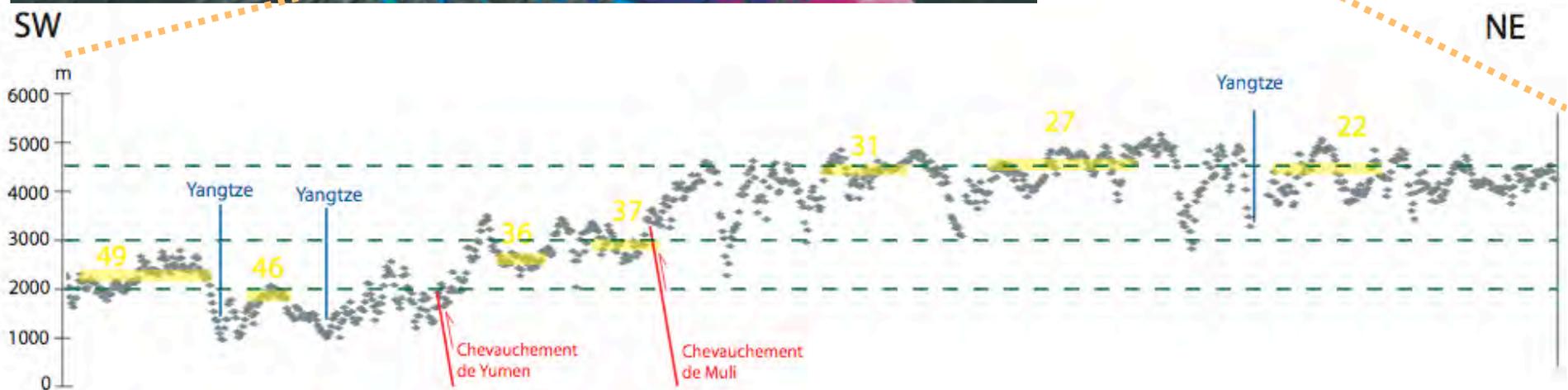
Orogenèse indosinienne (~250-200 Ma)  
+ orogénèse himalayenne



## Analyse de la topographie de la marge

=> Étagement  $\neq$  pente douce

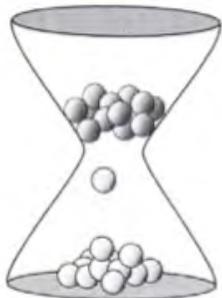
=> Coïncidence de l'emplacement des marches avec celui des chevauchements



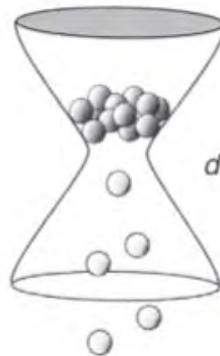
# Principe des méthodes thermochronologiques

Passage sous la température de clôture

*Closed System*



*Open System*



decay

● Parent

○ Daughter

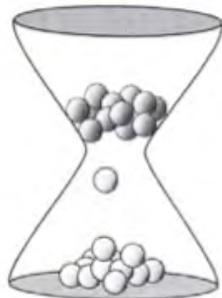
Braun *et al.* (2006)

$$\frac{dN}{dt} = P - \lambda N$$

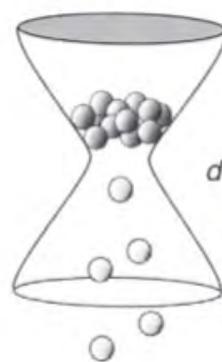
# Principe des méthodes thermochronologiques

## Passage sous la température de clôture

Closed System



Open System



decay

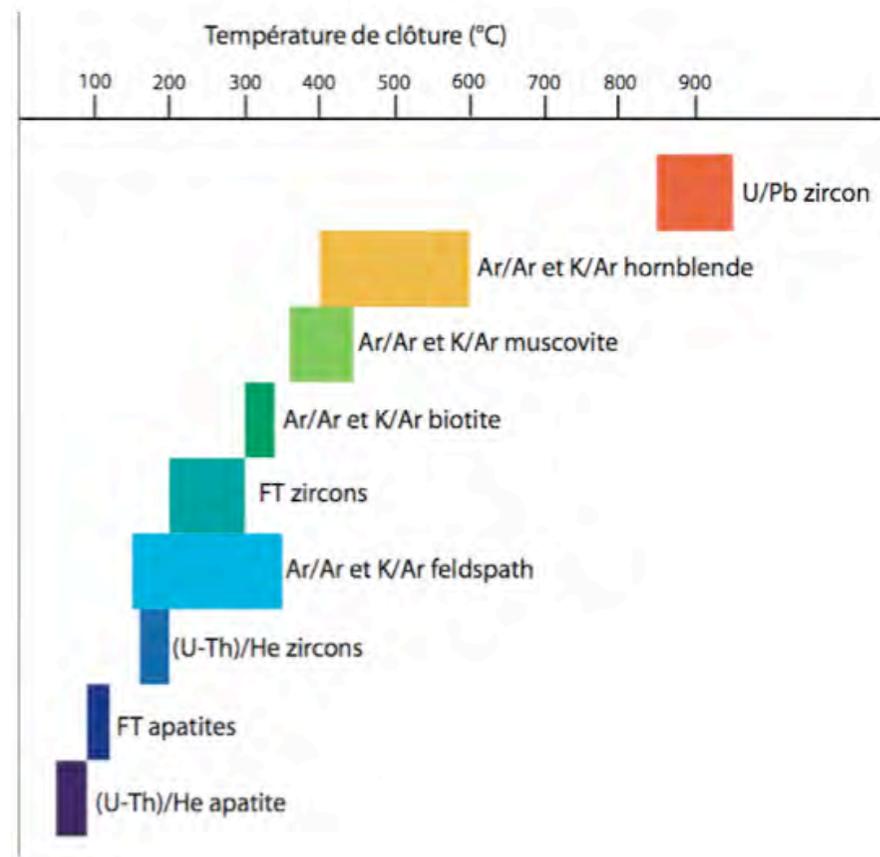
● Parent

○ Daughter

Braun *et al.* (2006)

$$\frac{dN}{dt} = P - \lambda N$$

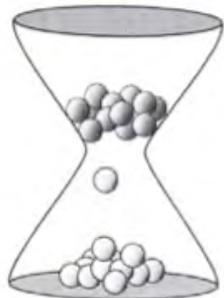
## Gamme de couples utilisables



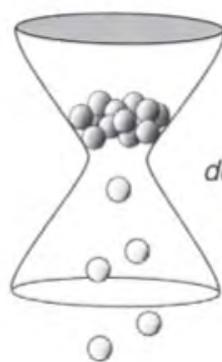
# Principe des méthodes thermochronologiques

## Passage sous la température de clôture

Closed System



Open System



decay

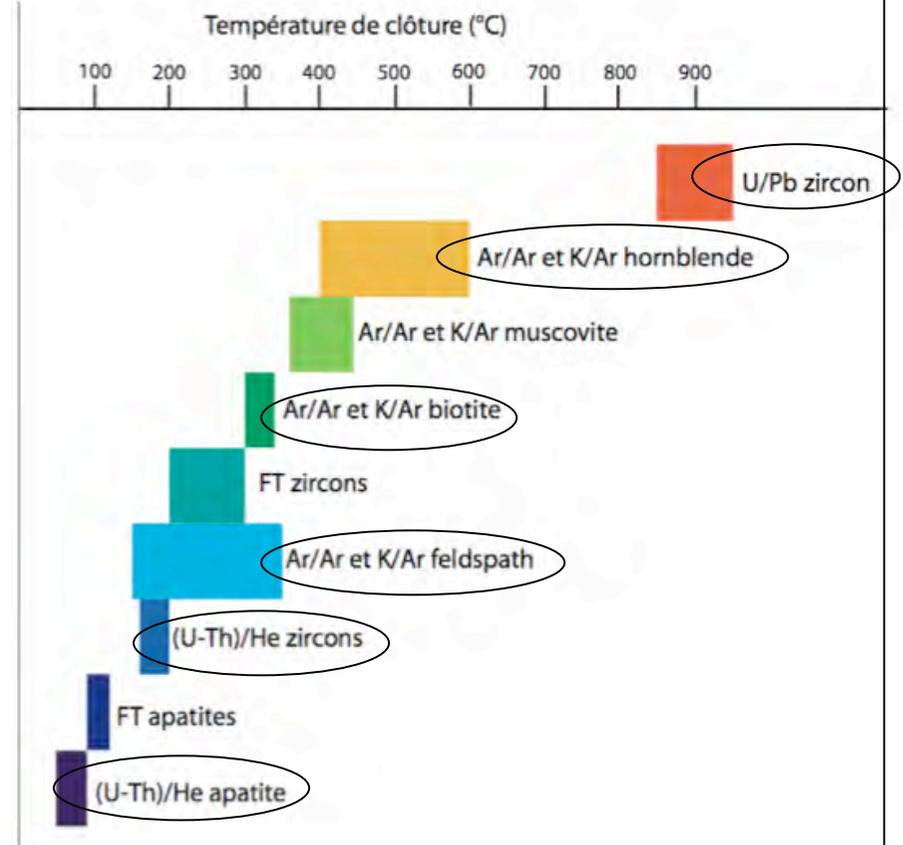
● Parent

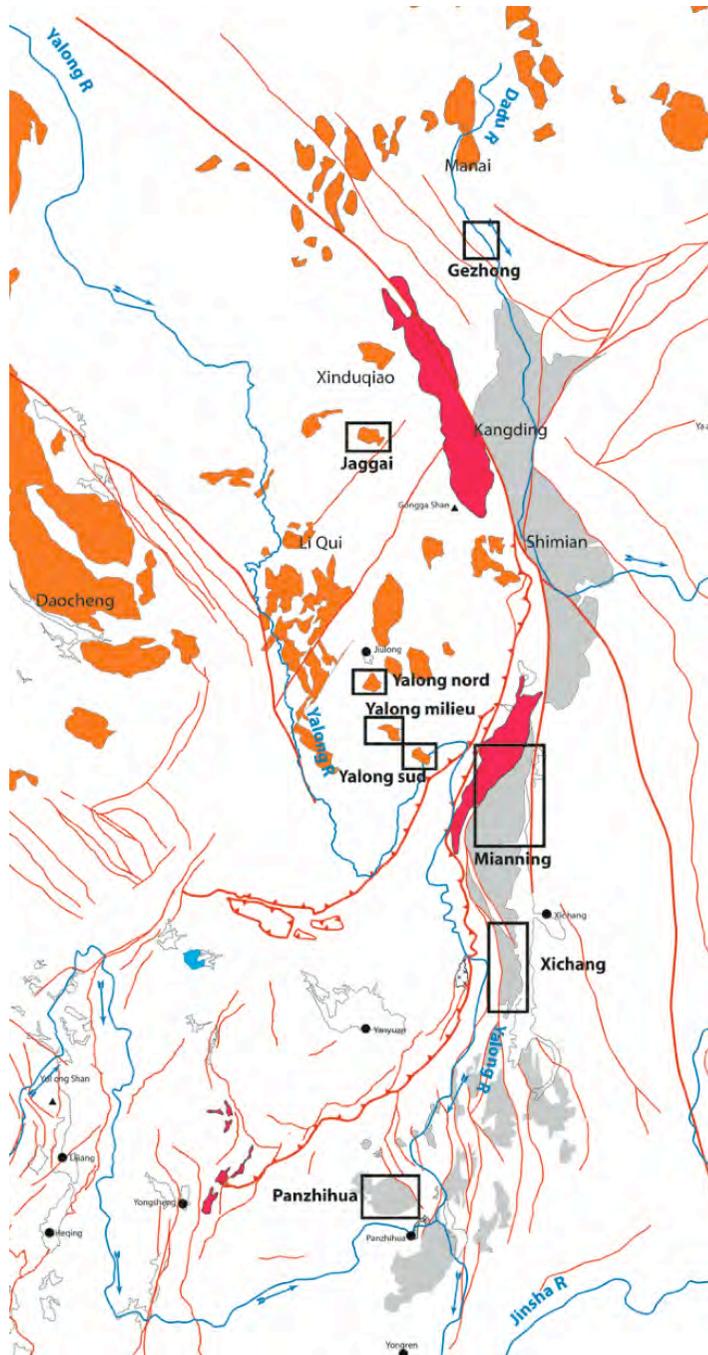
○ Daughter

Braun *et al.* (2006)

$$\frac{dN}{dt} = P - \lambda N$$

## Gamme de couples utilisables





### Données thermochronologiques déjà disponibles:

Clark *et al.* (2005), Lai *et al.* (2007), Ouimet *et al.* (2010), Wallis *et al.* (2003), Xu et Kamp (2000), etc.

### Échantillonnage supplémentaire de 8 massifs

But: compléter ces données

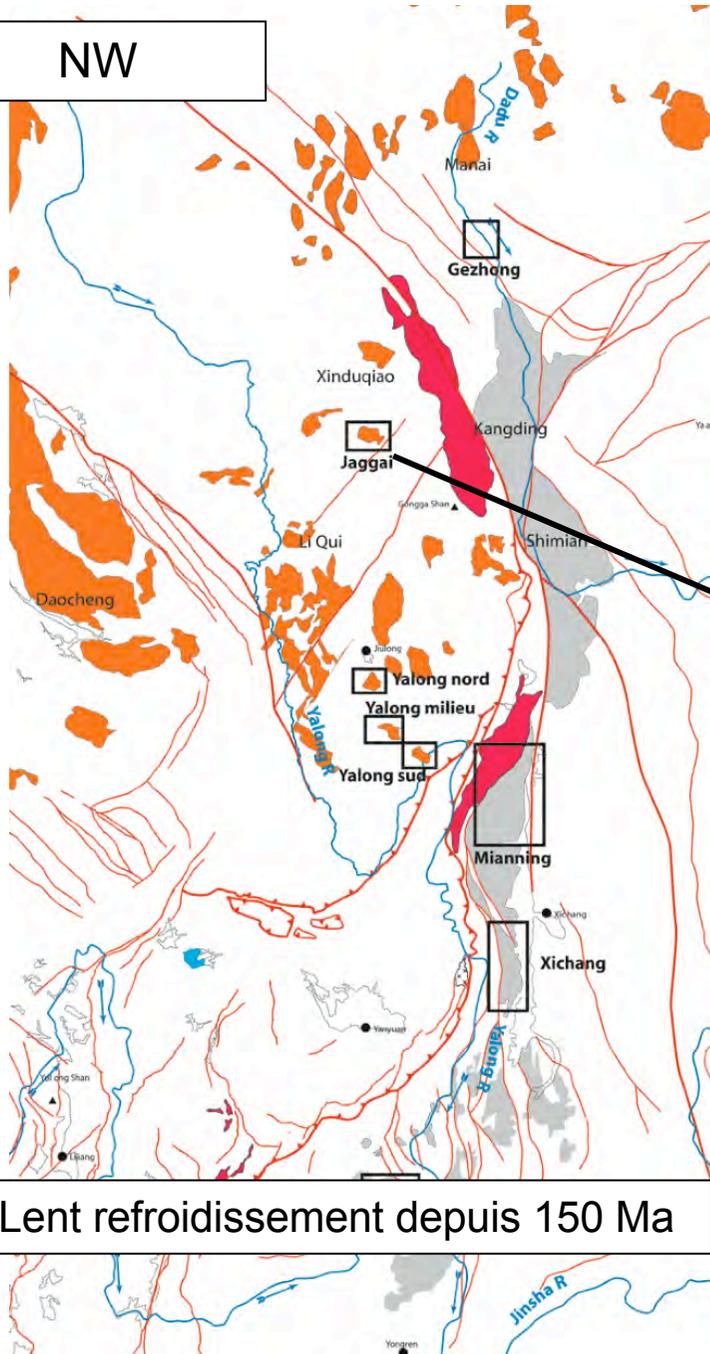
Limites: affleurements accessibles, lithologies appropriées, gamme d'altitude limitée, profils pas toujours verticaux

### Échantillons analysés:

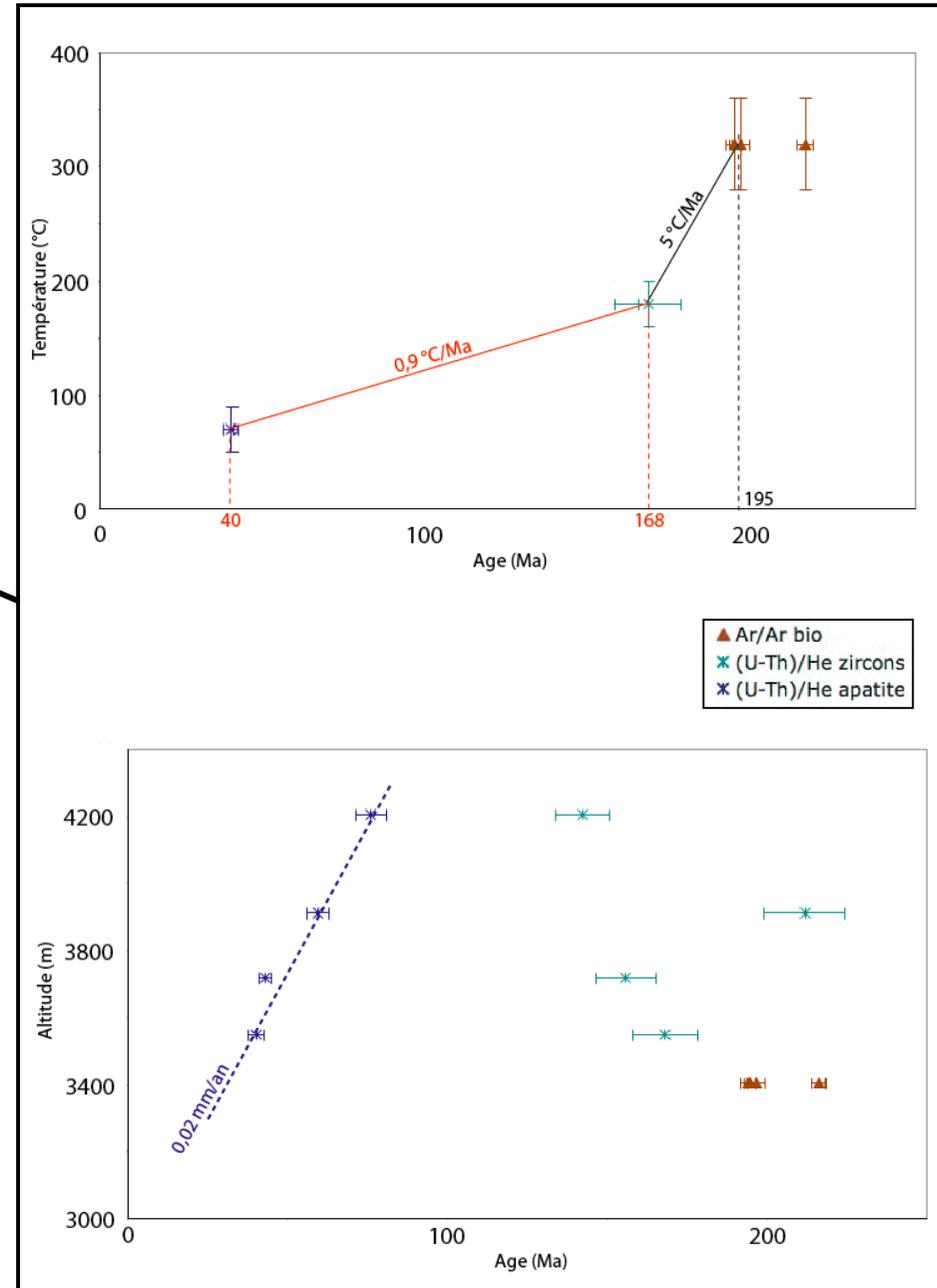
- 13 échantillons (U-Th)/He sur apatite (45)
- 18 échantillons (U-Th)/He sur zircon (3)
- 12 échantillons  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (29)
- 3 échantillons U/Pb (32)

Mesures au CRPG Nancy ((U-Th)/He et U/Pb) et à l'université Montpellier II (Ar).

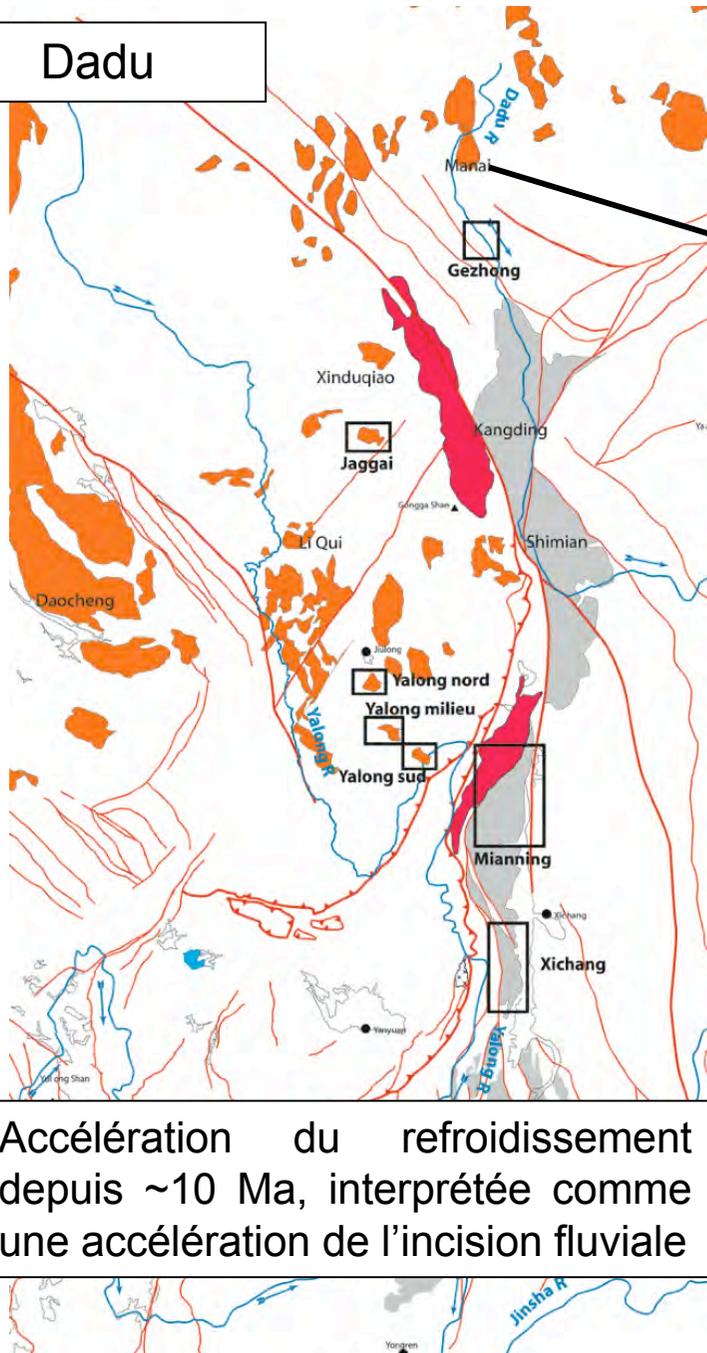
NW



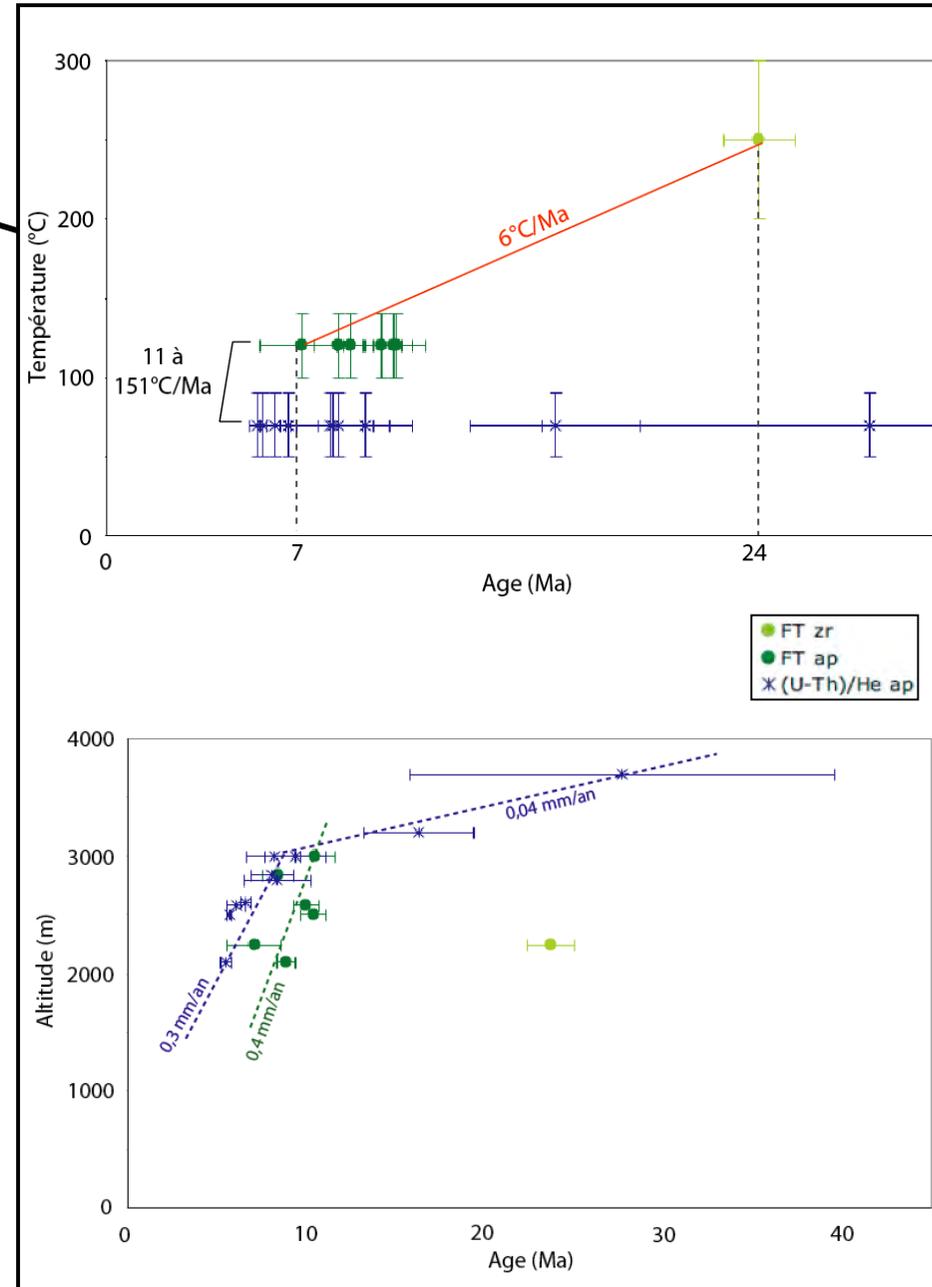
Lent refroidissement depuis 150 Ma

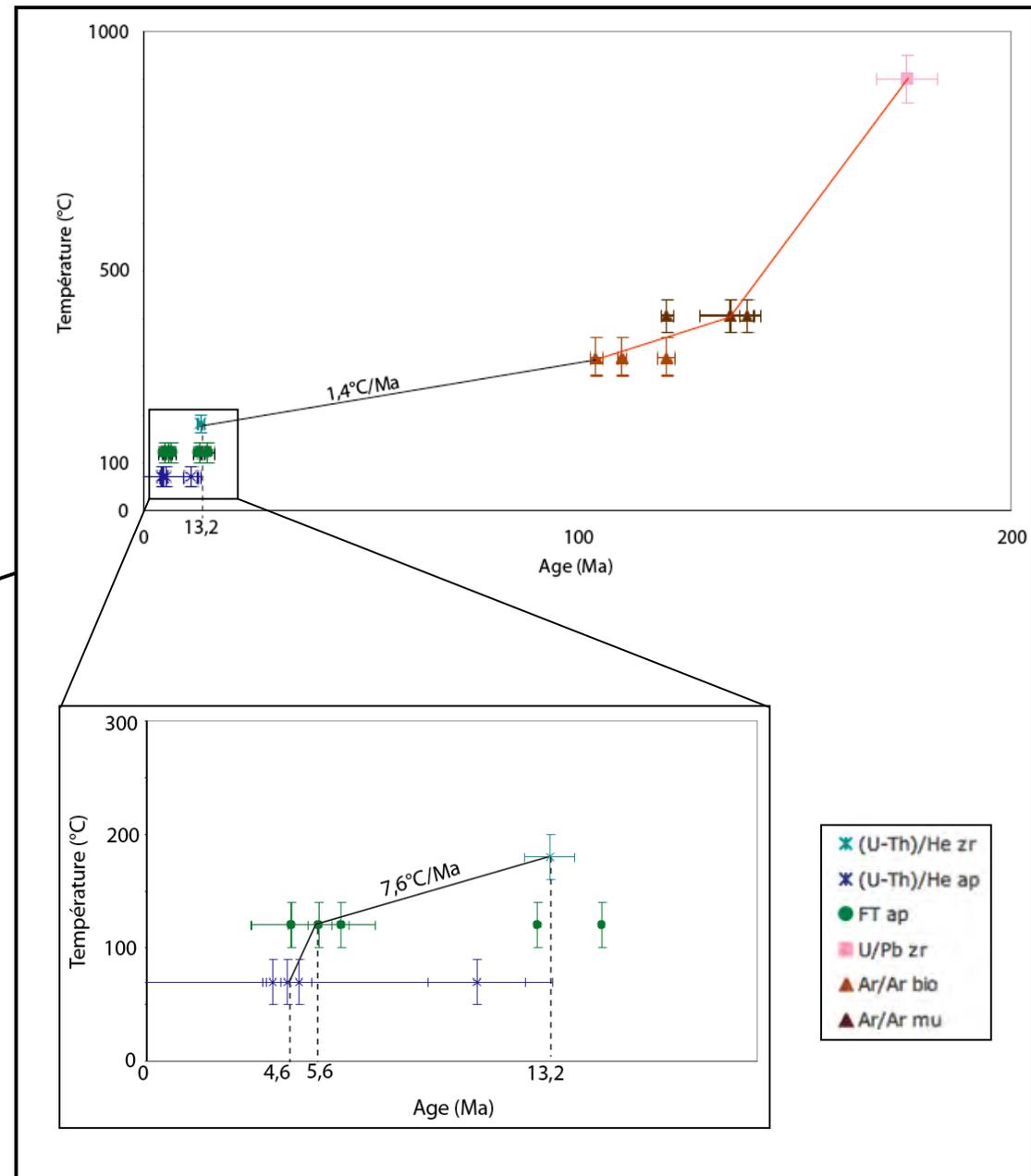
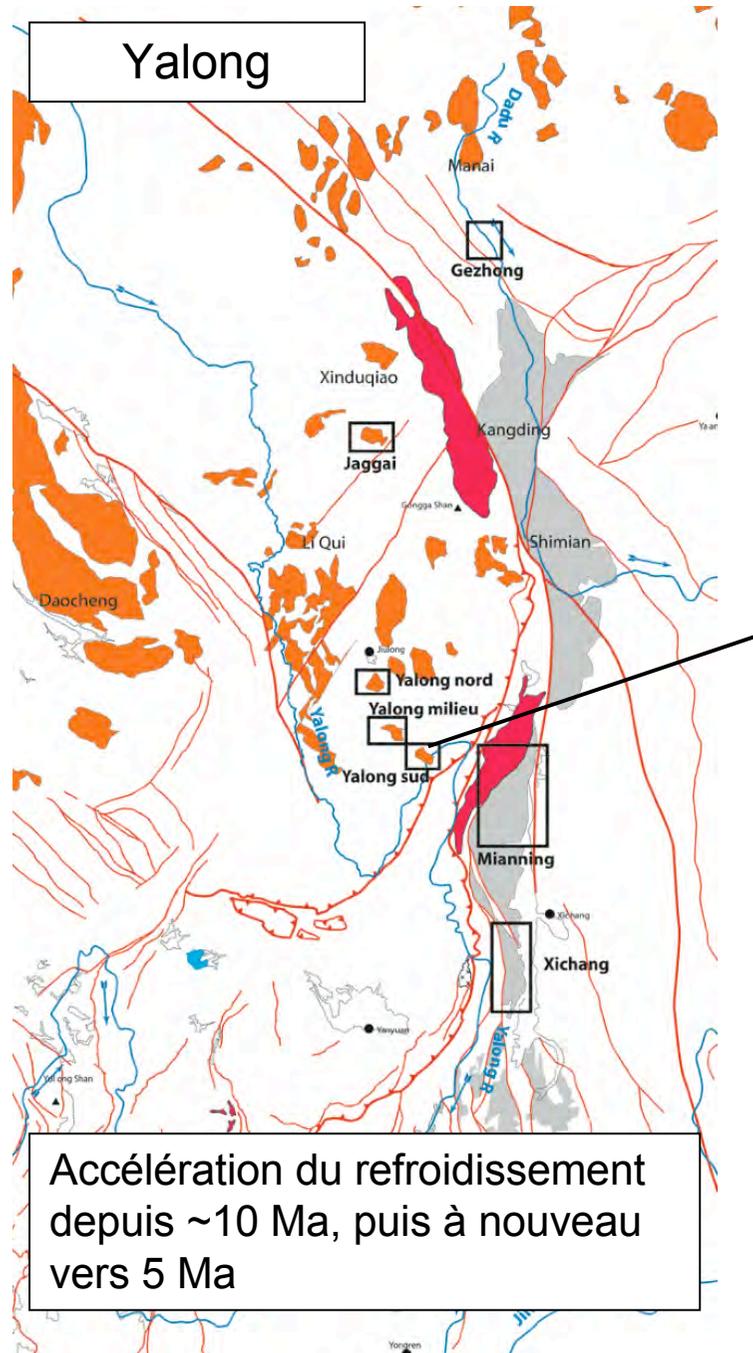


## Dadu



Accélération du refroidissement depuis ~10 Ma, interprétée comme une accélération de l'incision fluviale





# Conclusion

Nos données thermochronologiques confirment l'existence d'une phase de refroidissement accéléré vers  $\sim 10$  Ma dans le réseau hydrographique, déjà proposée dans le SE (Clark *et al.*, 2005 et Ouimet *et al.*, 2010) et dans les Longmen Shan (Kirby *et al.*, 2002 et Godard *et al.*, 2009), avec le passage de la vitesse d'exhumation de 0,03-0,05, à 0,3-0,5 mm/an (Ouimet *et al.* 2010).

Nos données ne permettent pas de trancher sur le mécanisme à l'origine du soulèvement de la marge, mais semblent montrer une accélération du refroidissement particulièrement prononcée en arrière des chevauchements.

Les données géologiques et géomorphologiques montrent une contribution des chevauchements au soulèvement de la marge au cours du Tertiaire, bien que celle-ci soit difficile à quantifier.

Questions ouvertes à propos de l'incision fluviale:

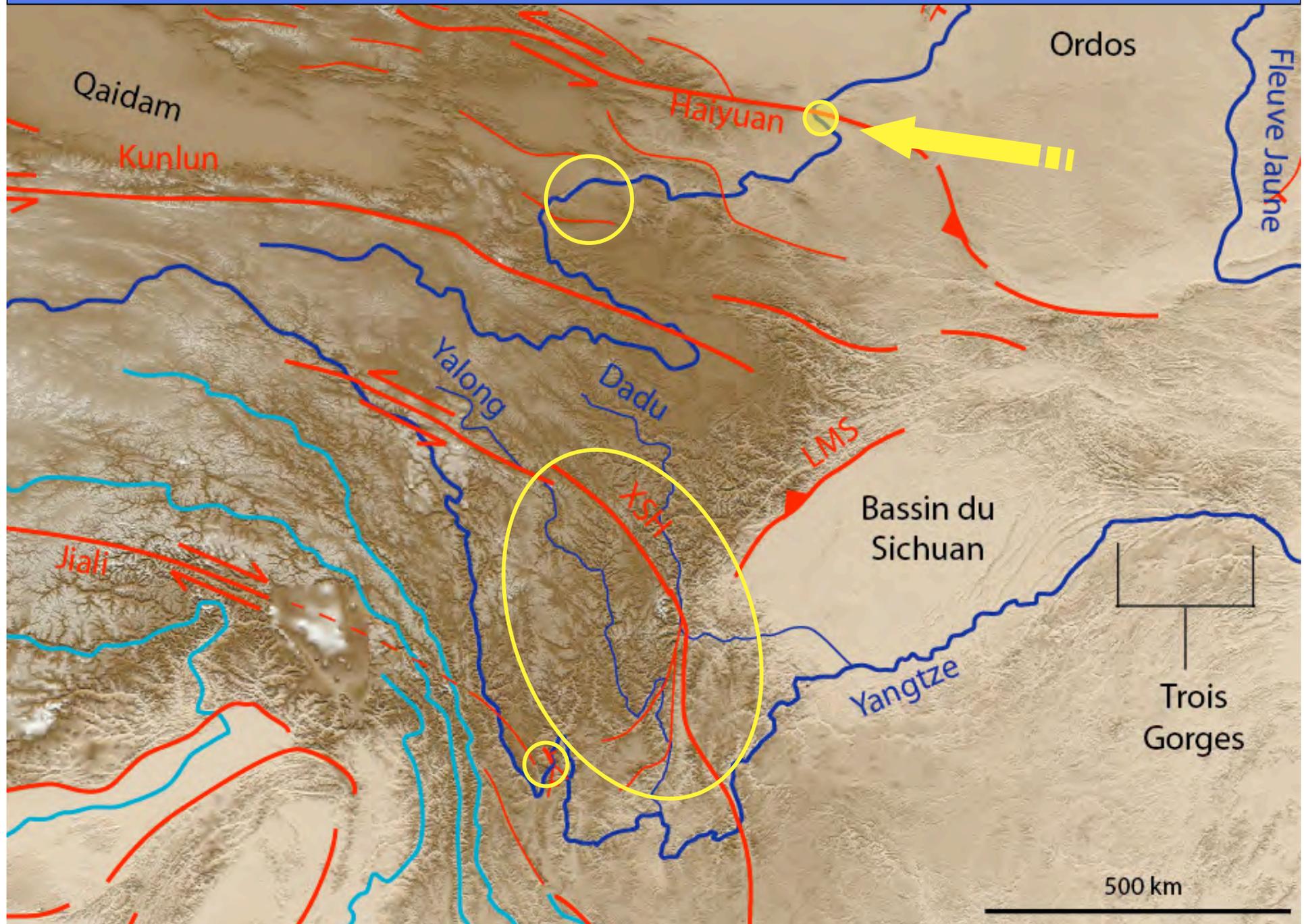
- accélération particulièrement prononcée en arrière des chevauchements
- Influence de la mousson sur l'accélération de l'incision ( $\sim 8-10$  Ma)
- (a)synchronisme de l'accélération de l'incision à travers la marge

## 2.

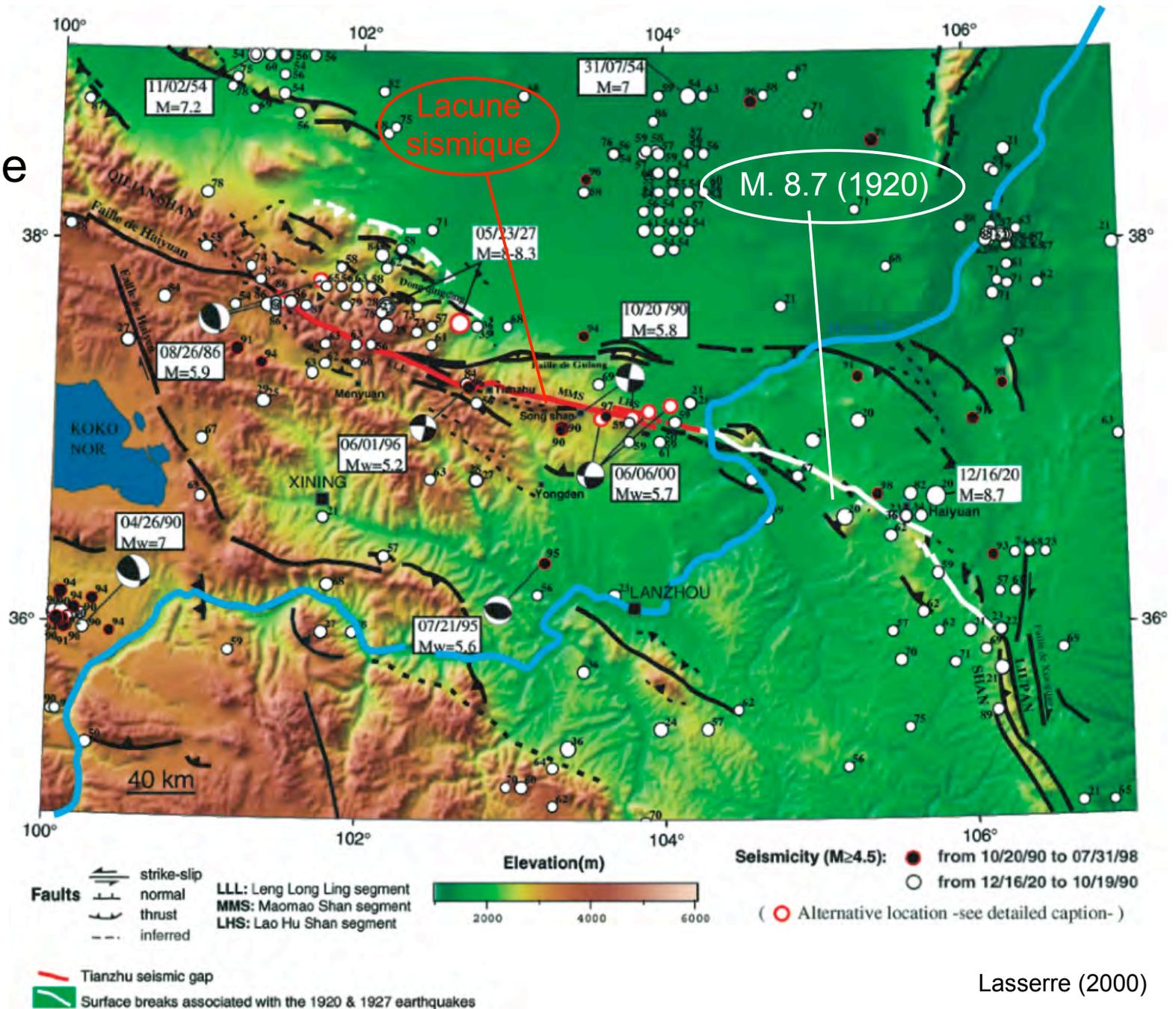
# Enregistrement de soulèvement tectonique récent

### 2.1

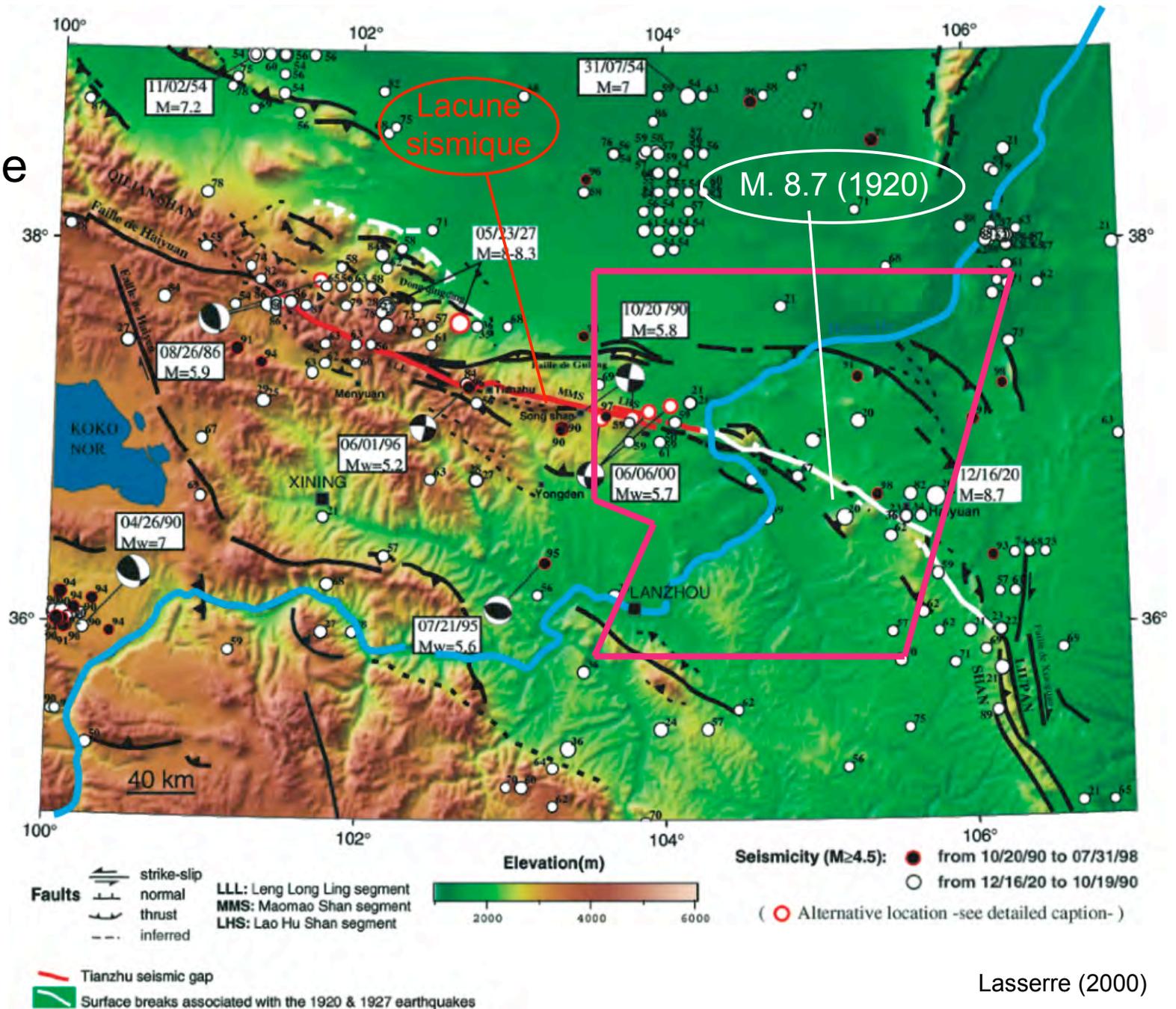
Le soulèvement d'un relais compressif de la faille de Haiyuan  
[Mijia Shan]



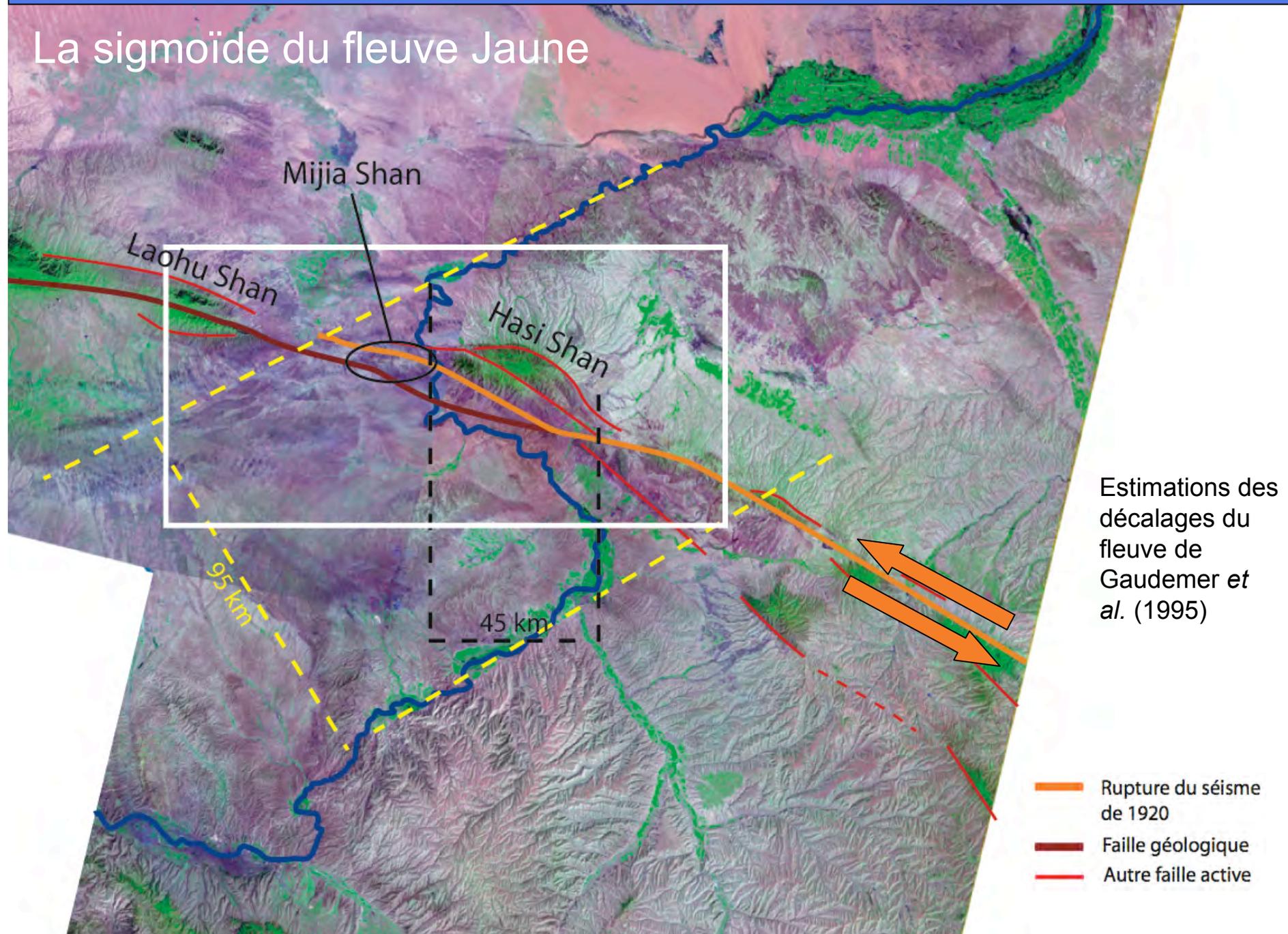
## La faille de Haiyuan



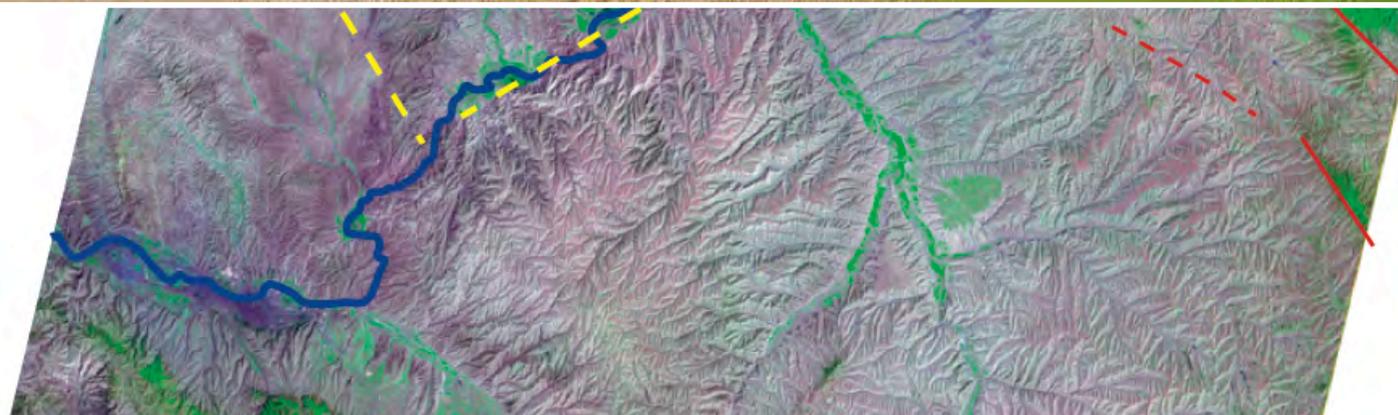
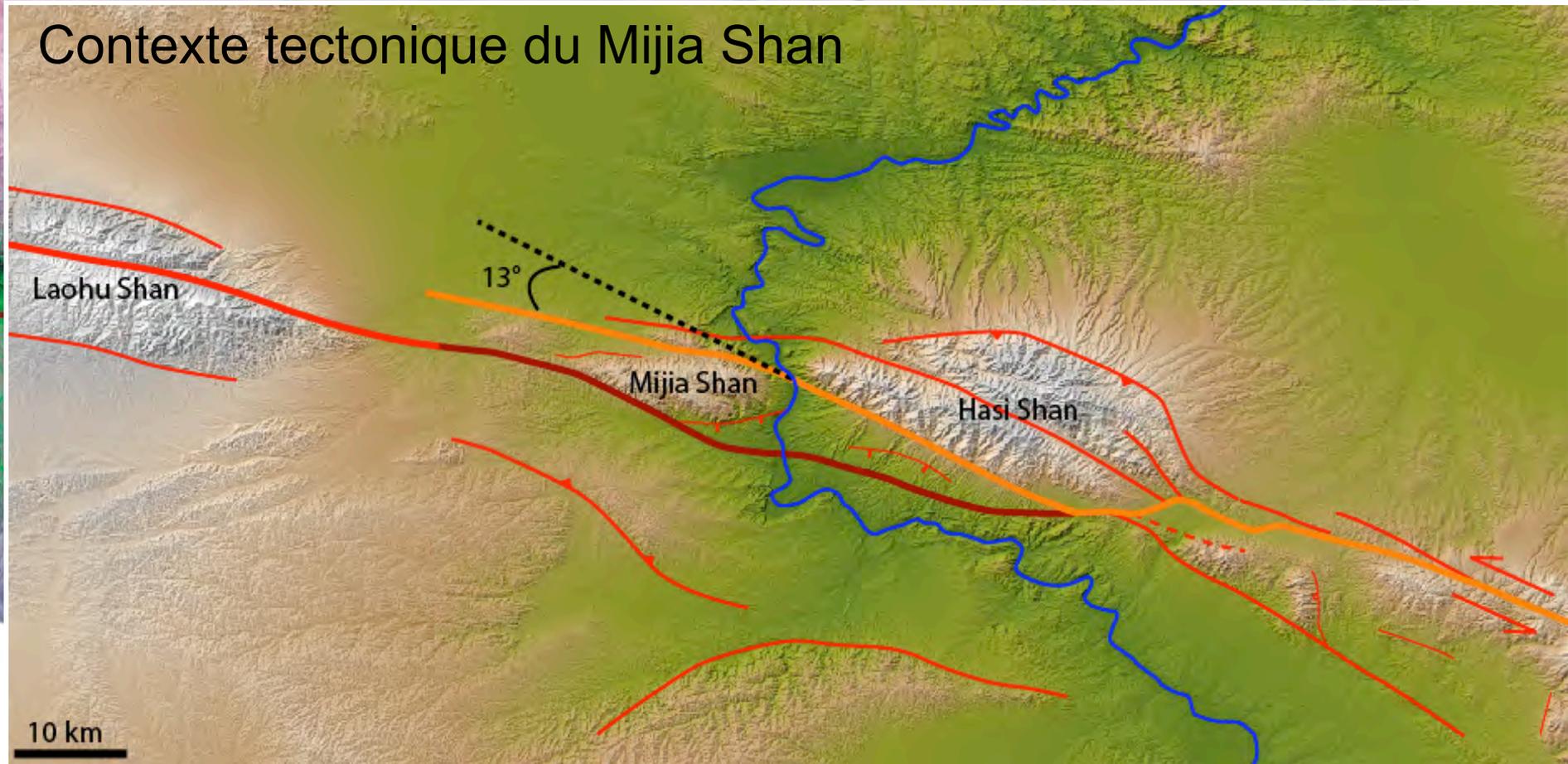
# La faille de Haiyuan



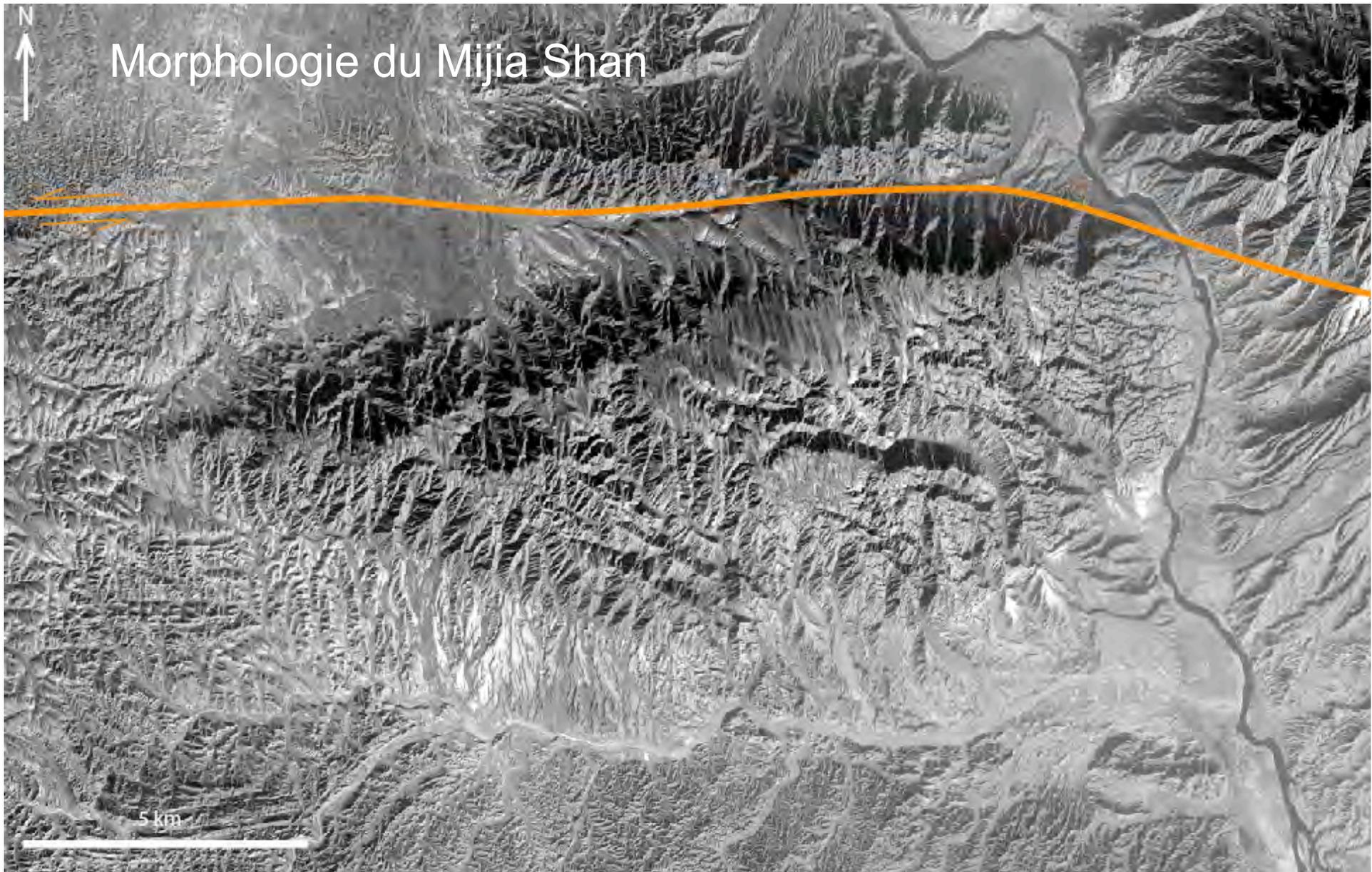
## La sigmoïde du fleuve Jaune

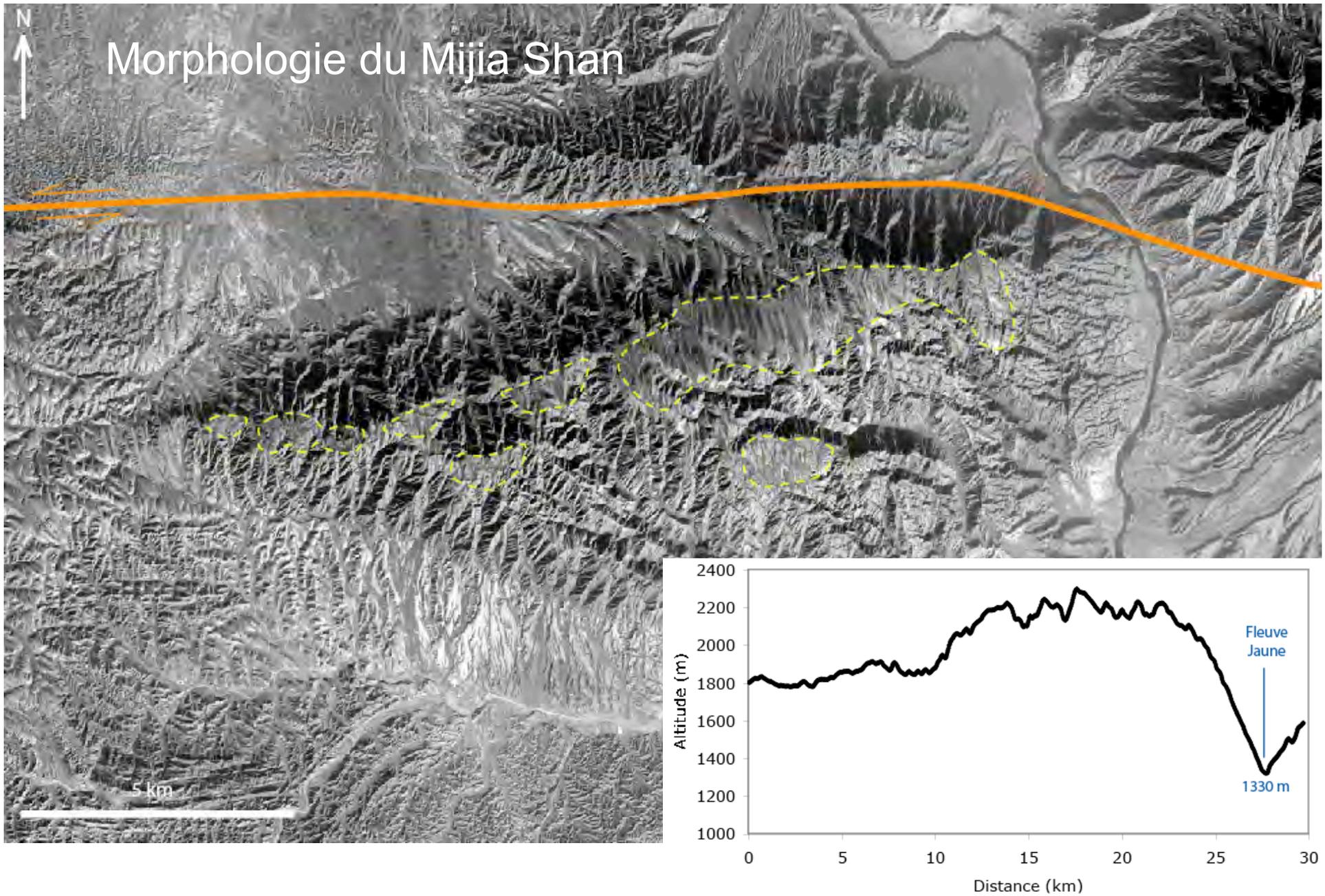


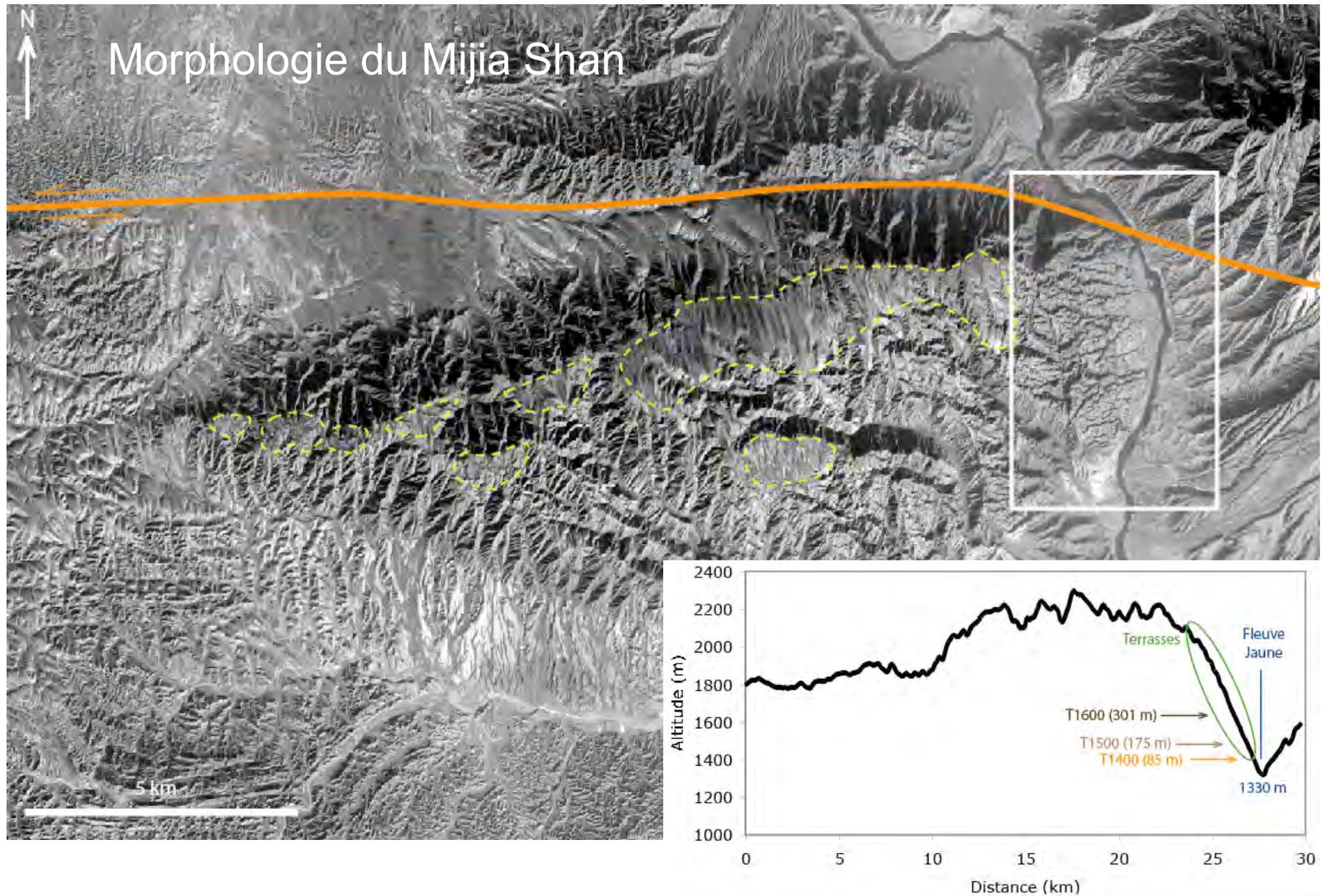
## Contexte tectonique du Mijia Shan

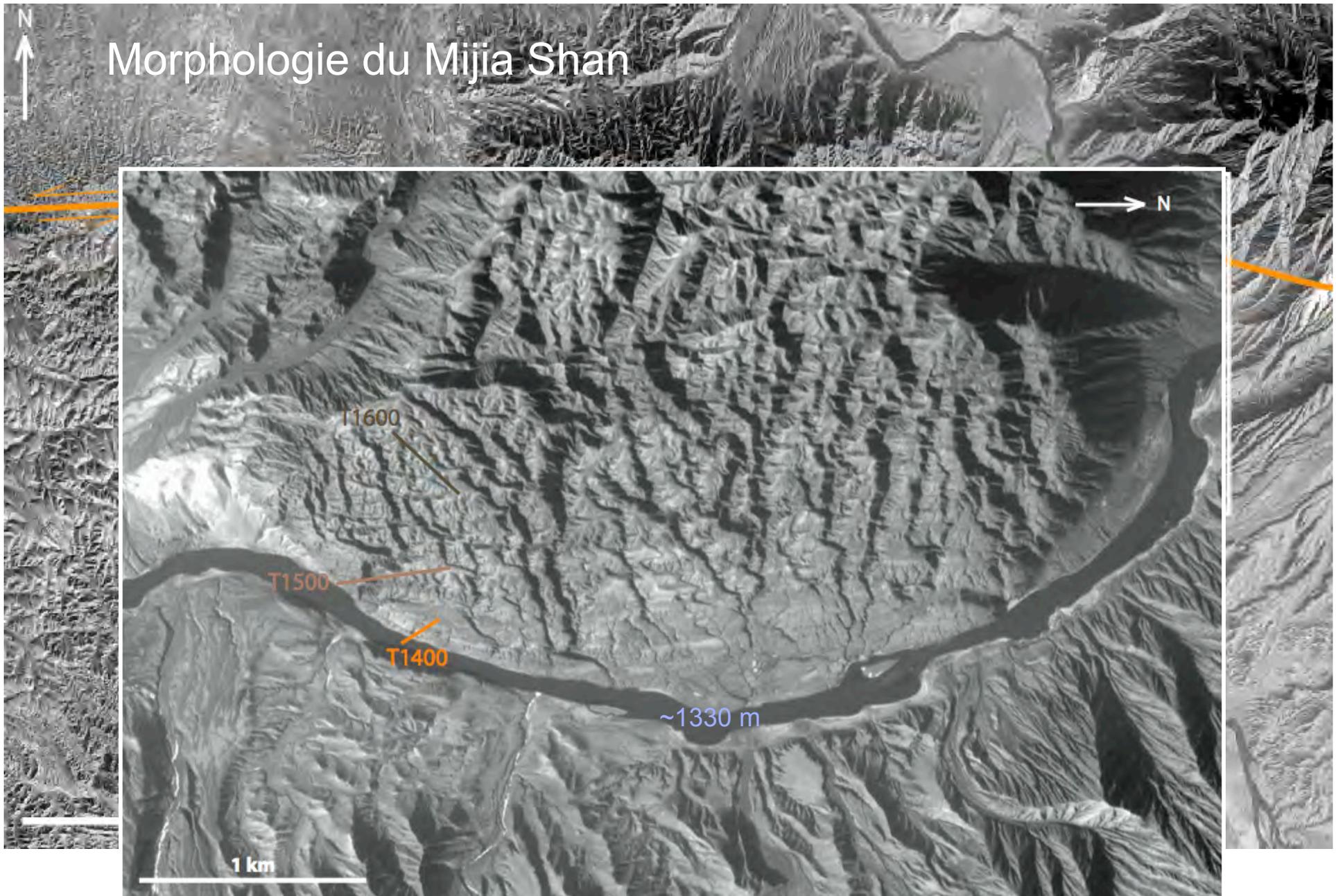


- Rupture du séisme de 1920
- Faille géologique
- Autre faille active









## Les terrasses

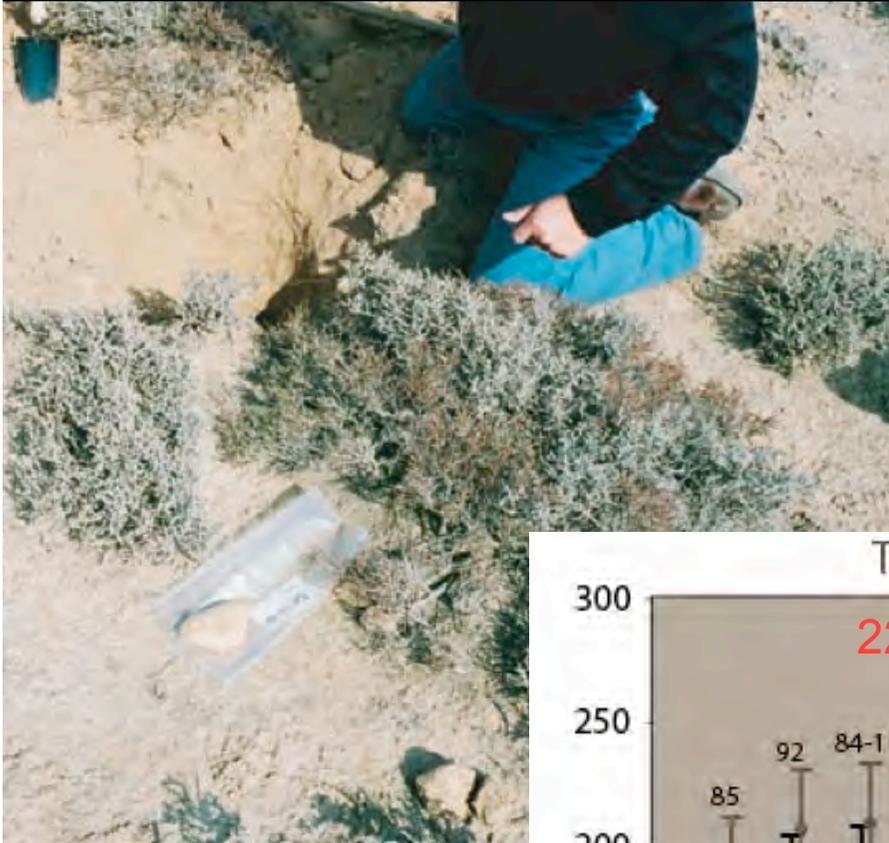


- dans un assez mauvais état de conservation

- absentes sur la rive du Hasi Shan (rive E)

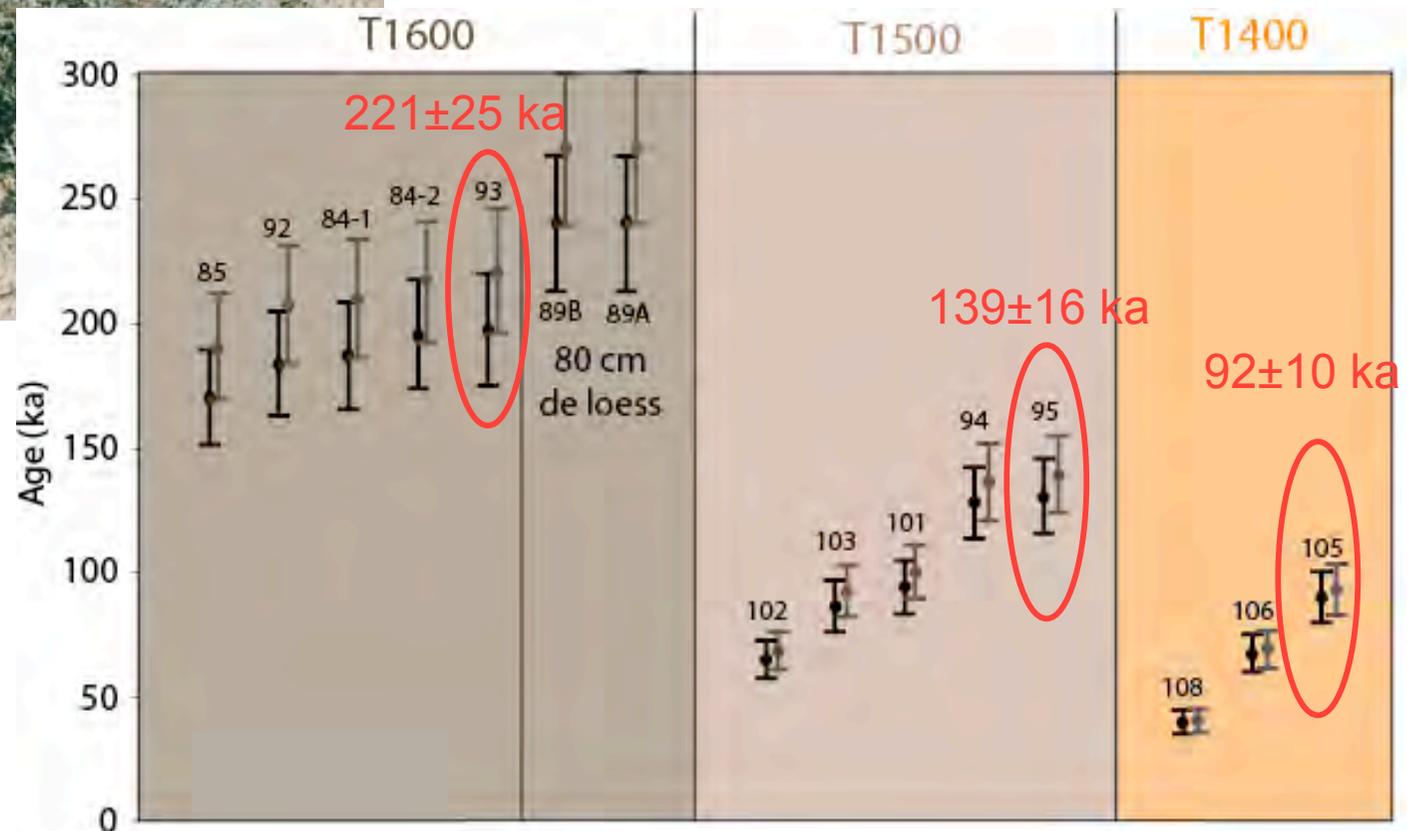
=> les terrasses sont des marqueurs passifs de la surrection du Mijia Shan

dans le coude de la faille, dans une zone où l'incision propre du fleuve est très faible

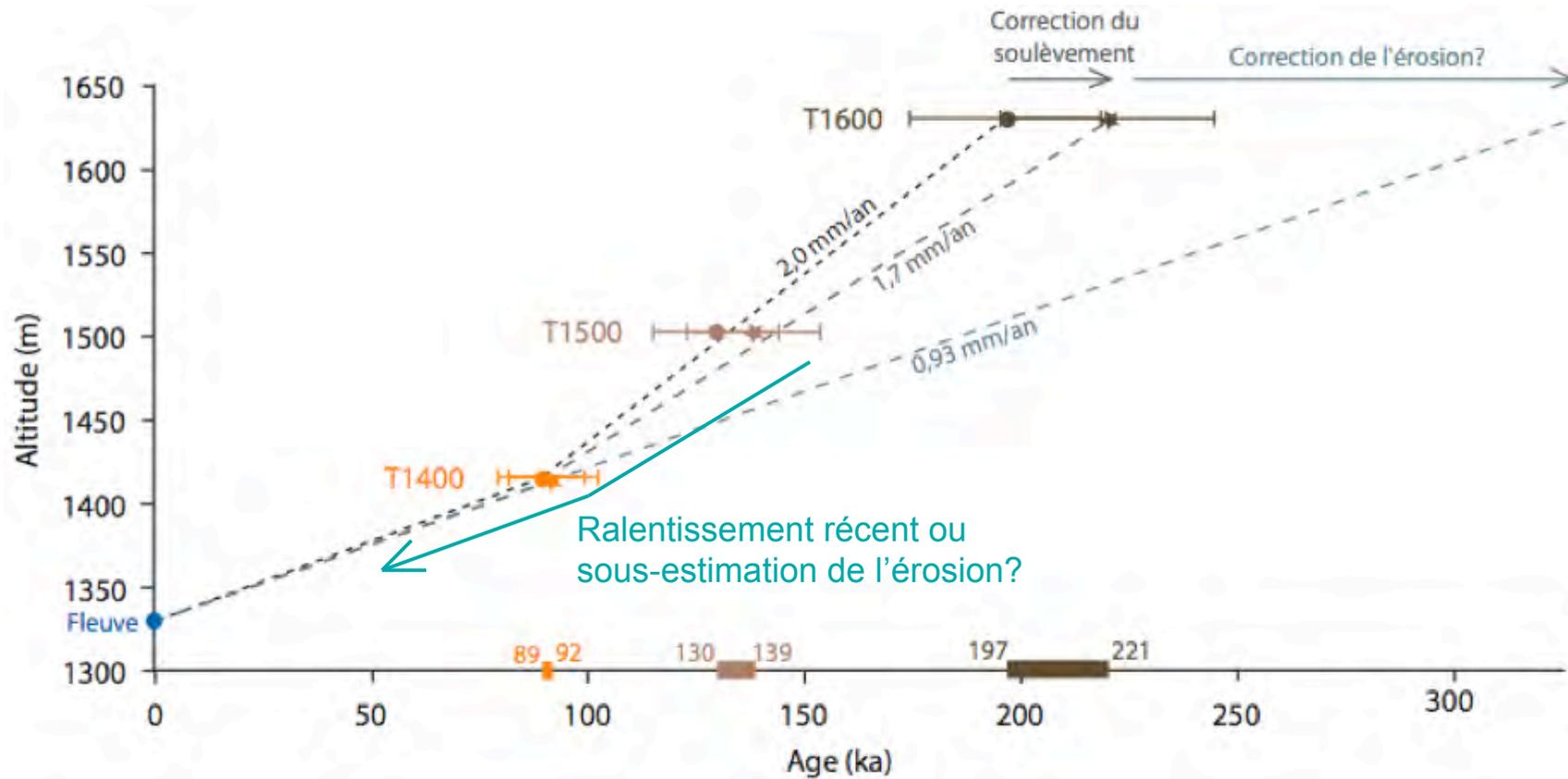


## Résultats des datations $^{10}\text{Be}$ et $^{26}\text{Al}$

— sans soulèvement  
— soulèvement corrigé



15 échantillons



Surrection du massif comprise entre 1 et 1,7 mm/an

# Conclusion

◇ Âges minimums des terrasses:

T1600:  $221 \pm 25$  ka

T1500:  $139 \pm 16$  ka

T1400:  $92 \pm 10$  ka

◇ La vitesse de surrection du massif est comprise entre 1 et 1,7 mm/an.

◇ Compte tenu de son altitude au-dessus du fleuve (890 m), le massif pourrait se soulever depuis moins de 1 Ma à cette vitesse.

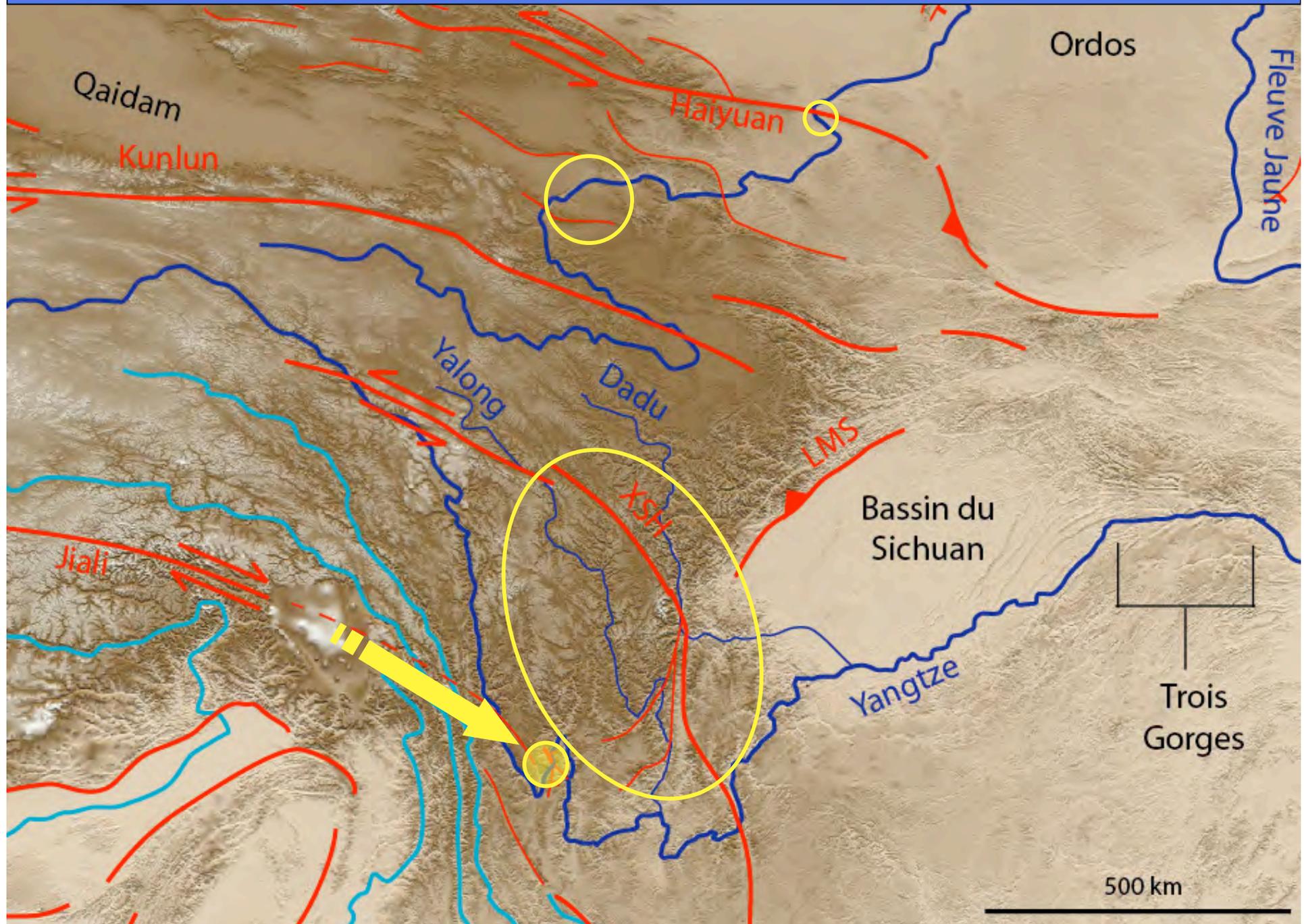
◇ Compte tenu de l'angle de la faille ( $13^\circ$ ), il pourrait absorber  $\sim 20\%$  du mouvement décrochant, en accord avec les vitesses proposées le long de la faille de 5 à 10 mm/an.

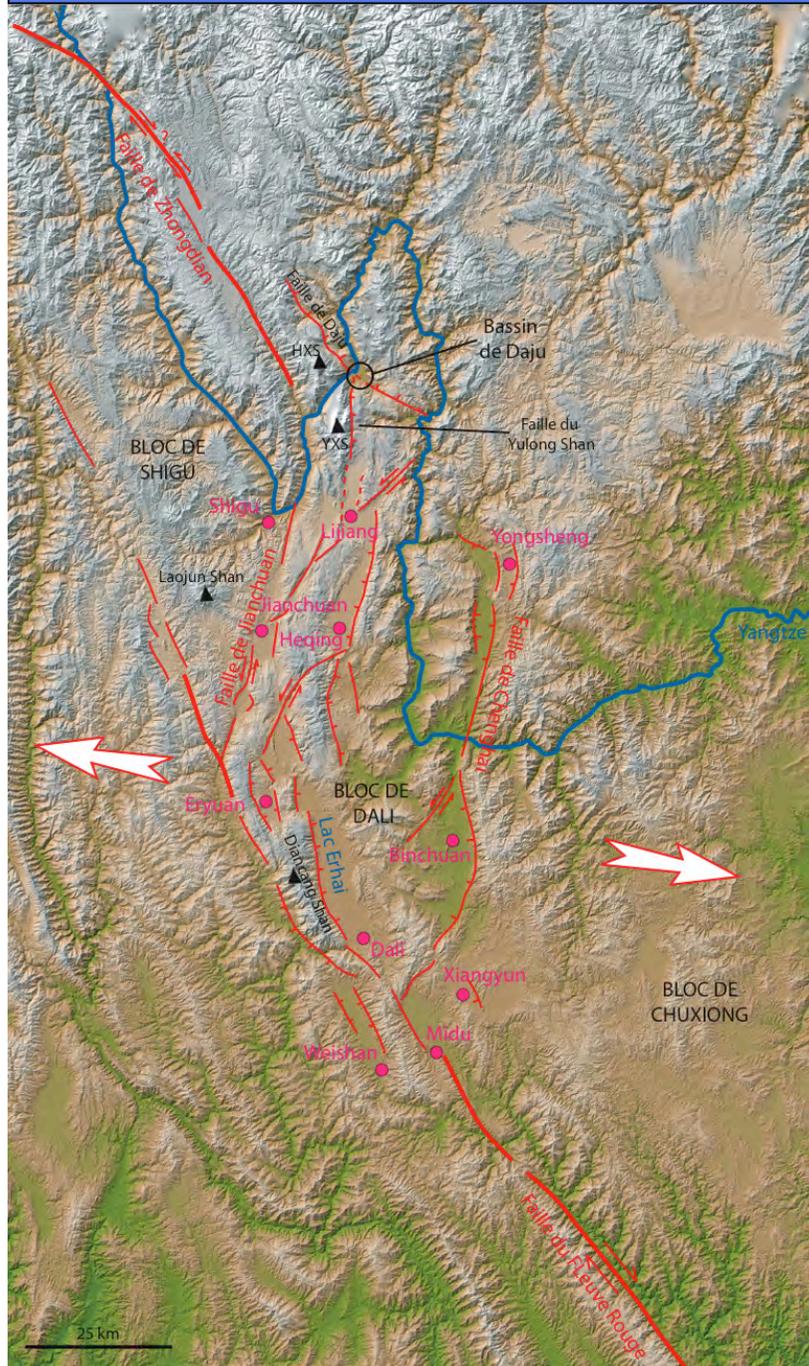
## 2.

# Enregistrement de soulèvement tectonique récent

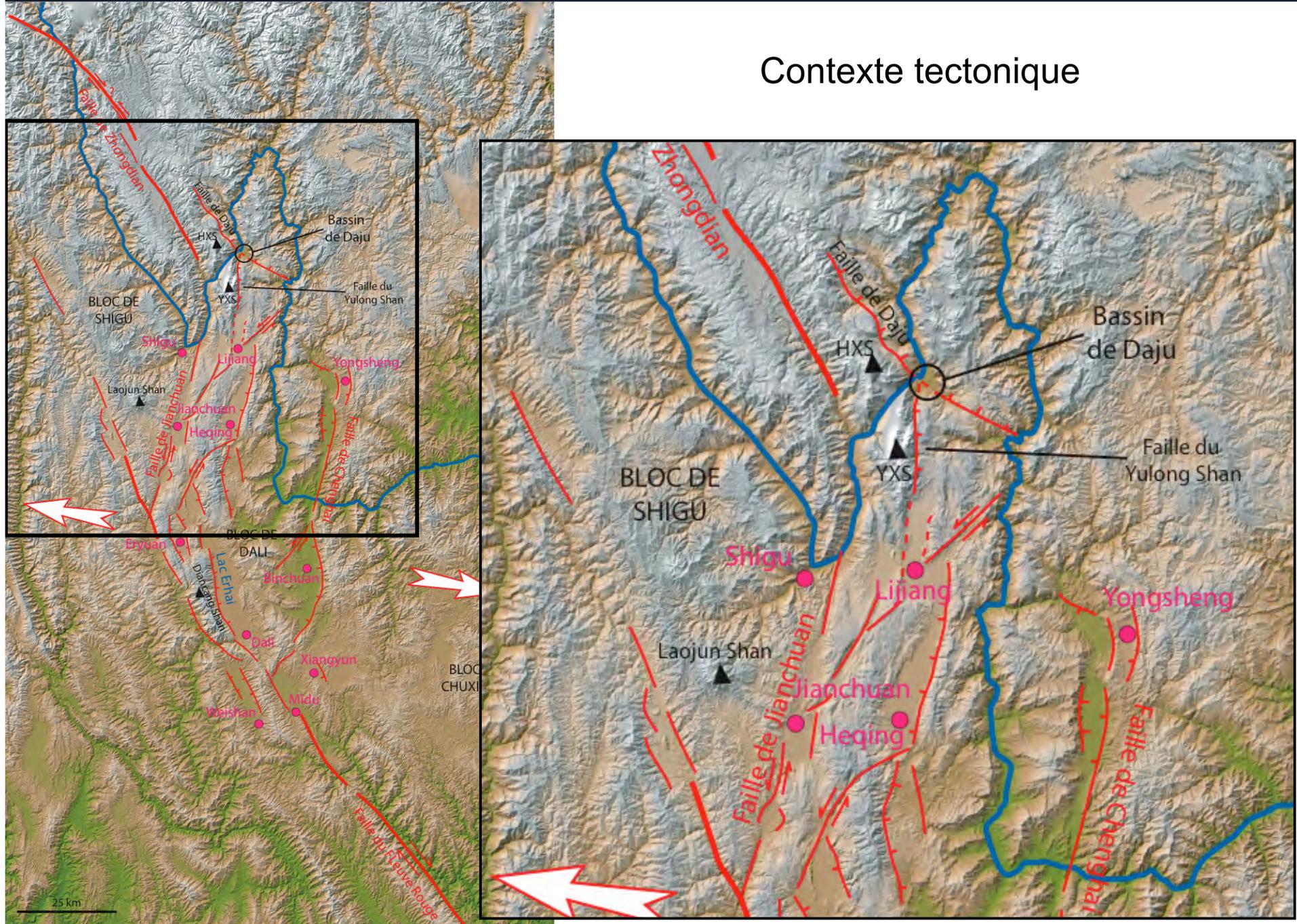
### 2.2

La surrection du Yulong Shan et la faille normale de Daju

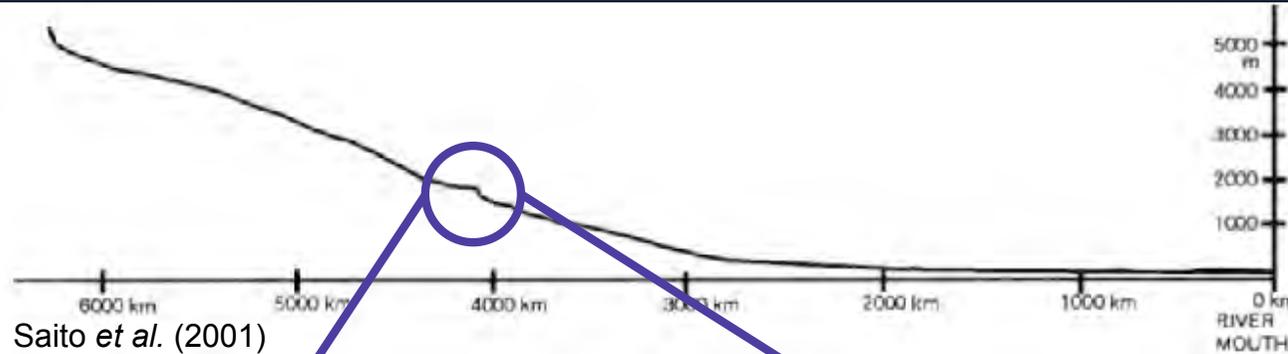




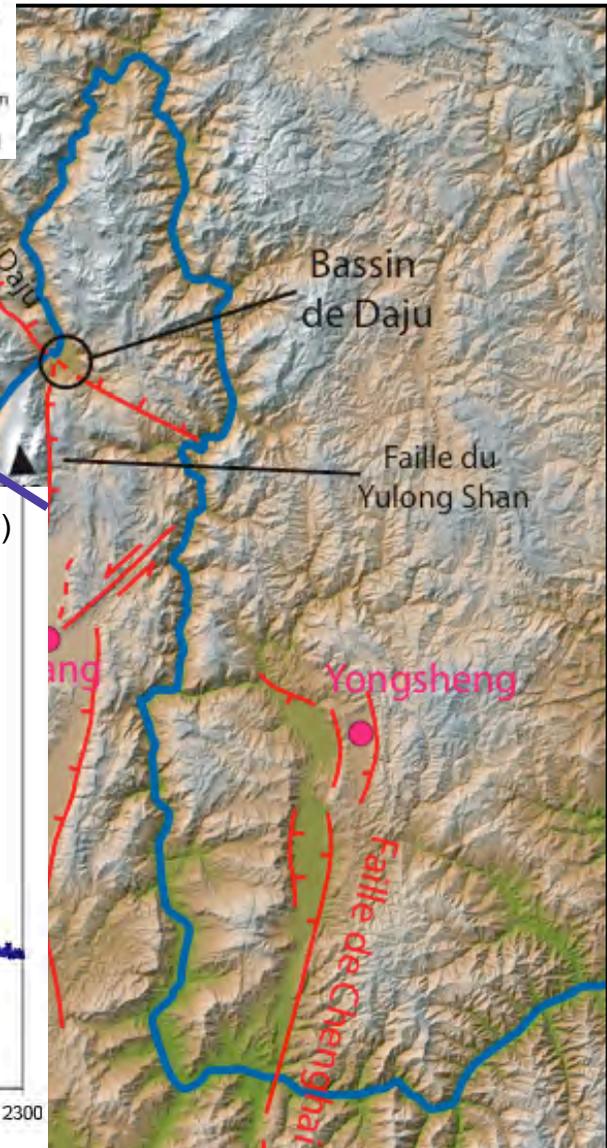
### Contexte tectonique



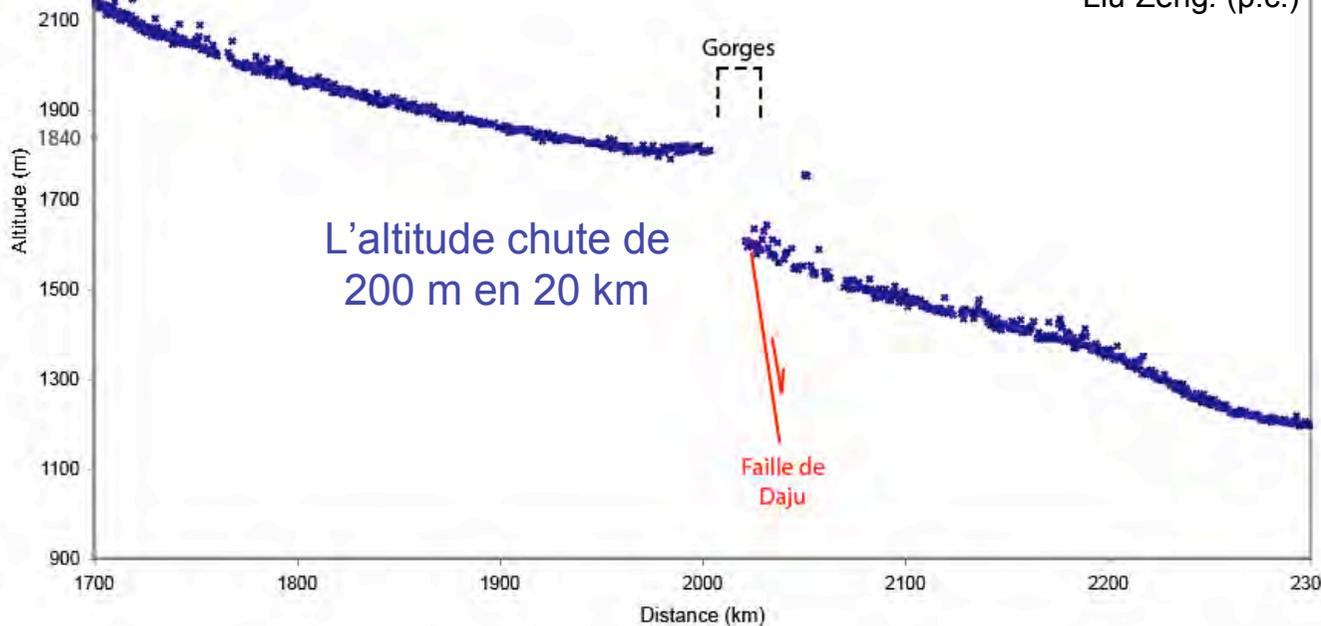
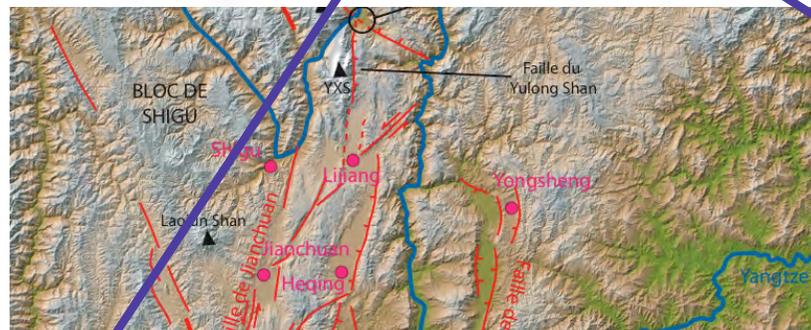
é tectonique



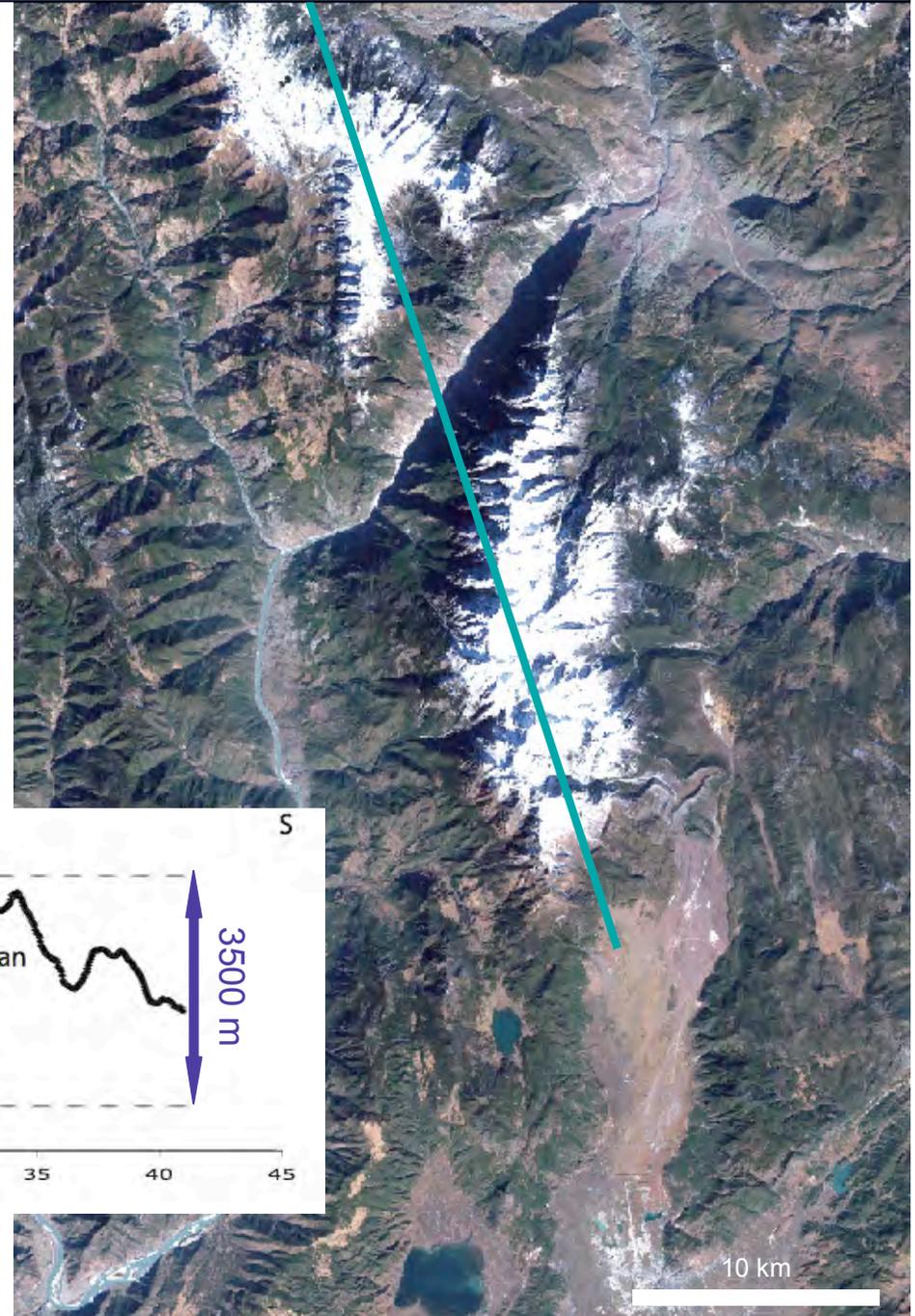
Saito et al. (2001)

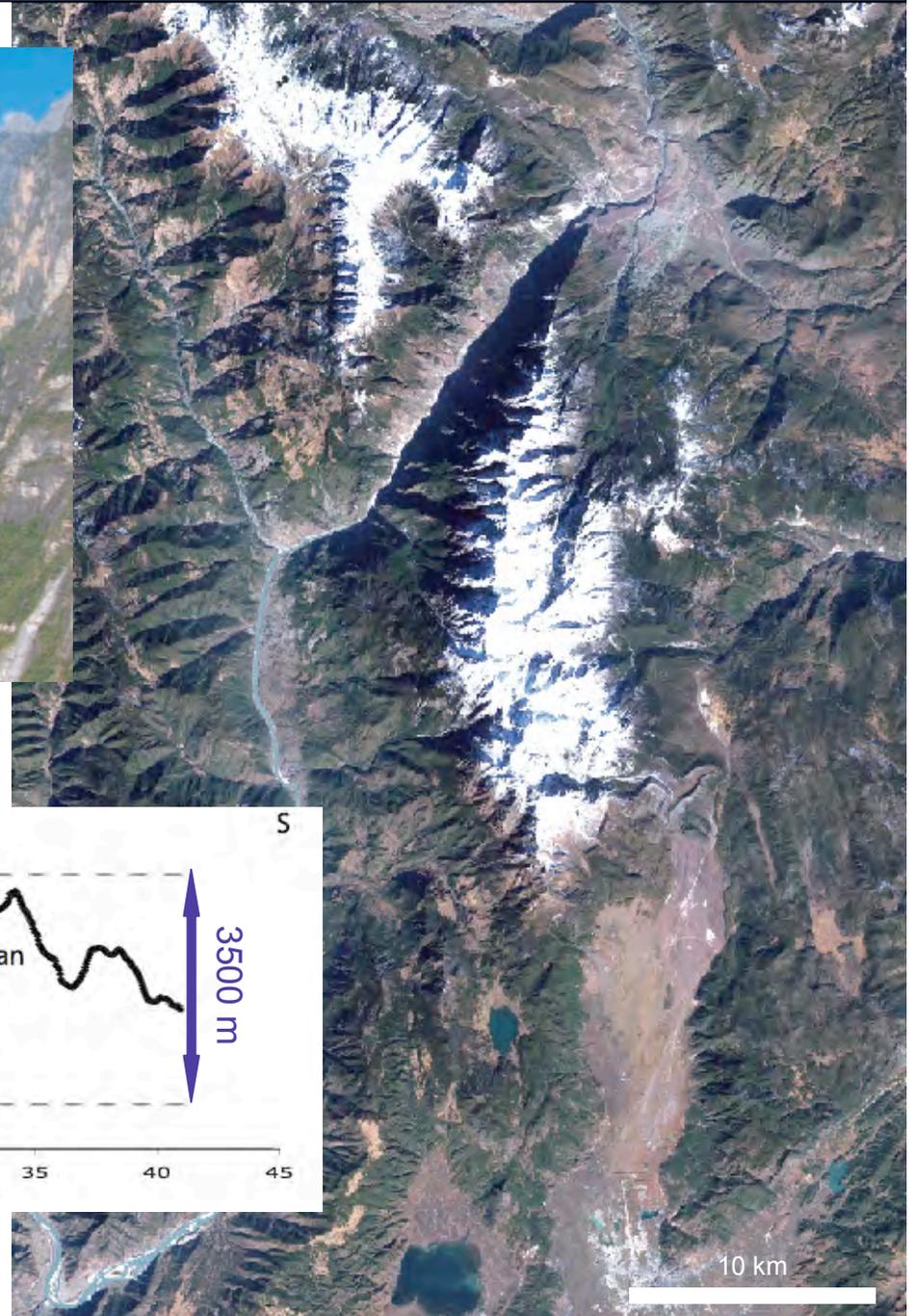


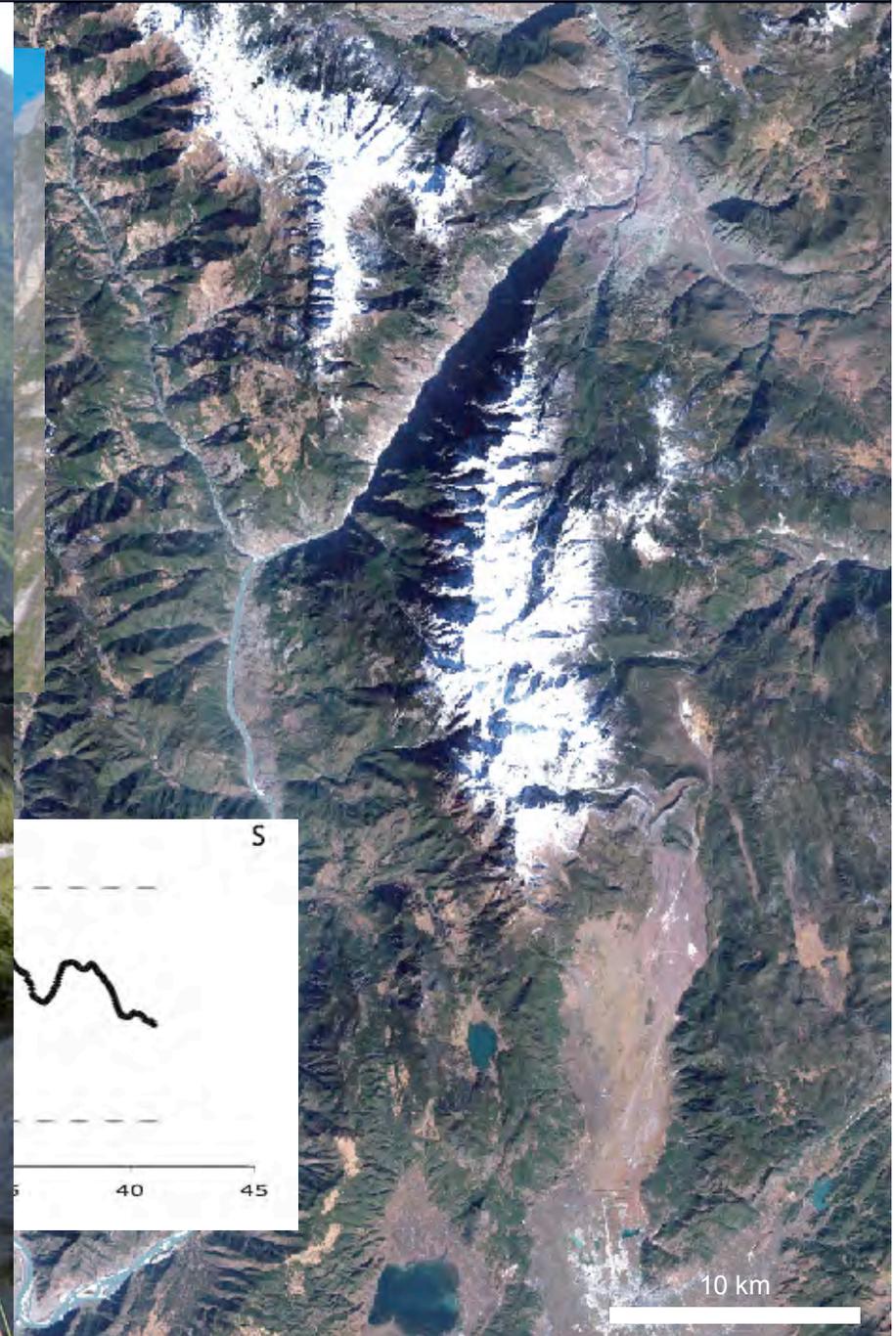
Liu-Zeng. (p.c.)



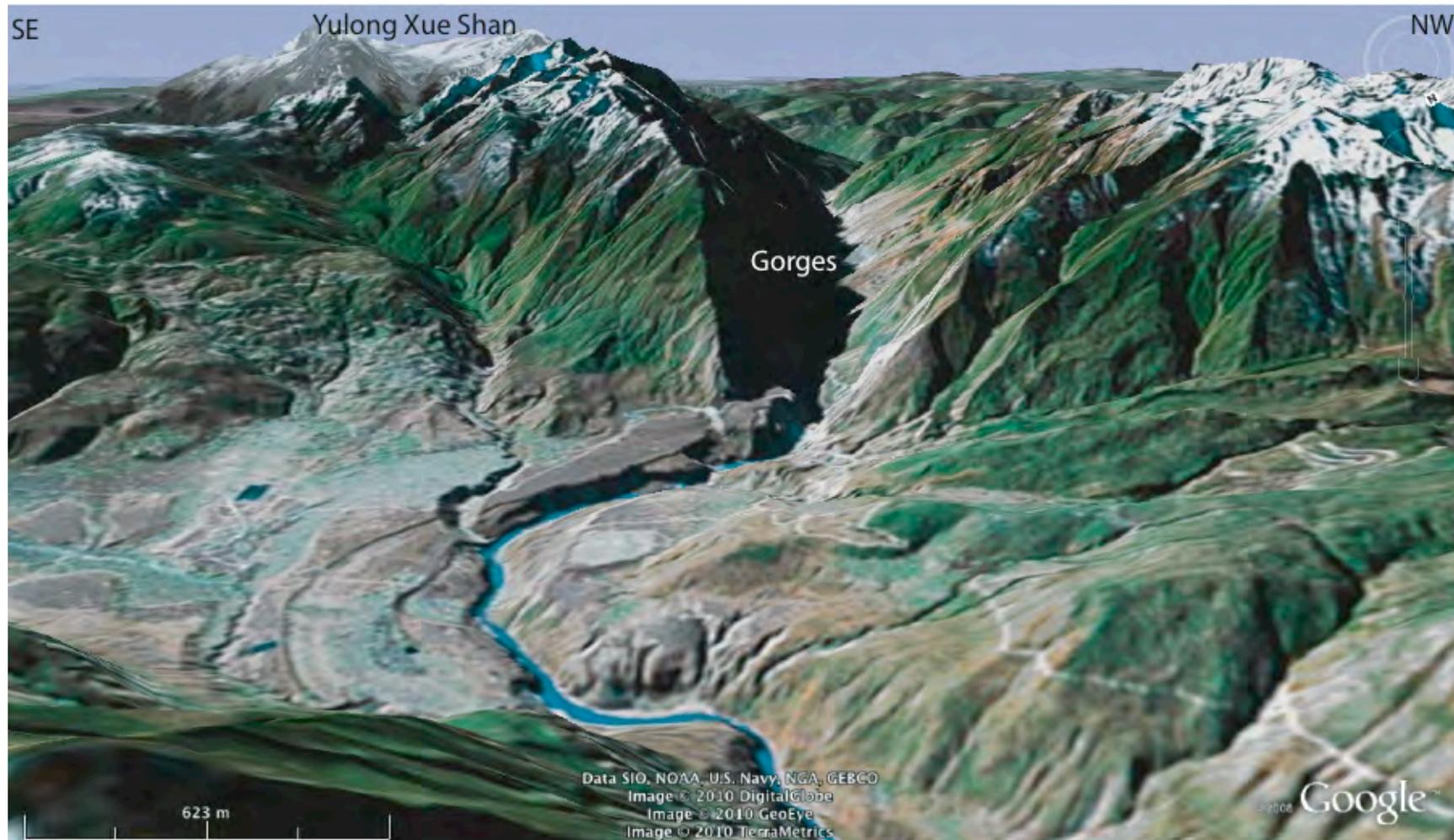
## Le Yulong Shan et les gorges du Saut du Tigre



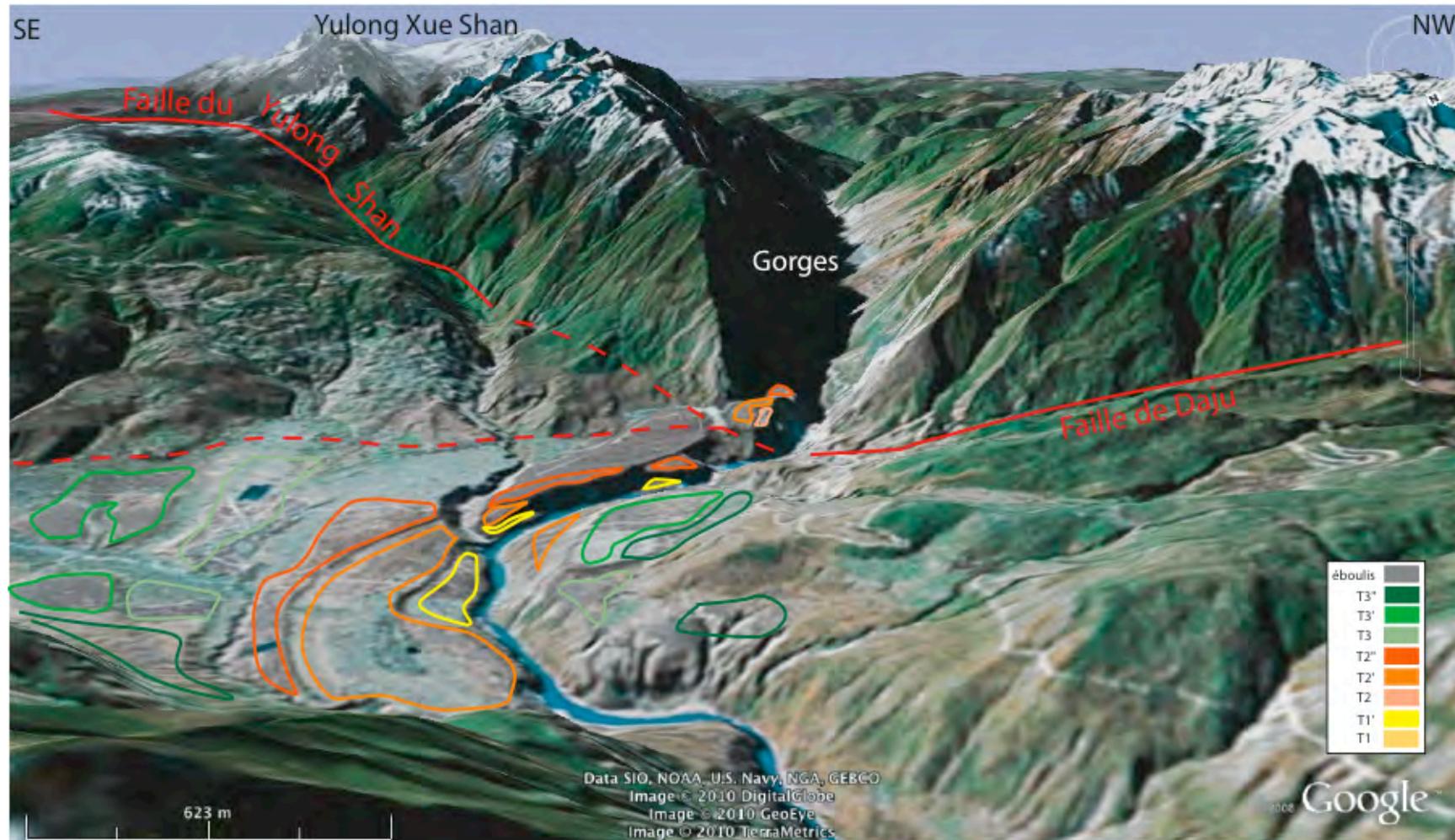




## Le bassin de Daju



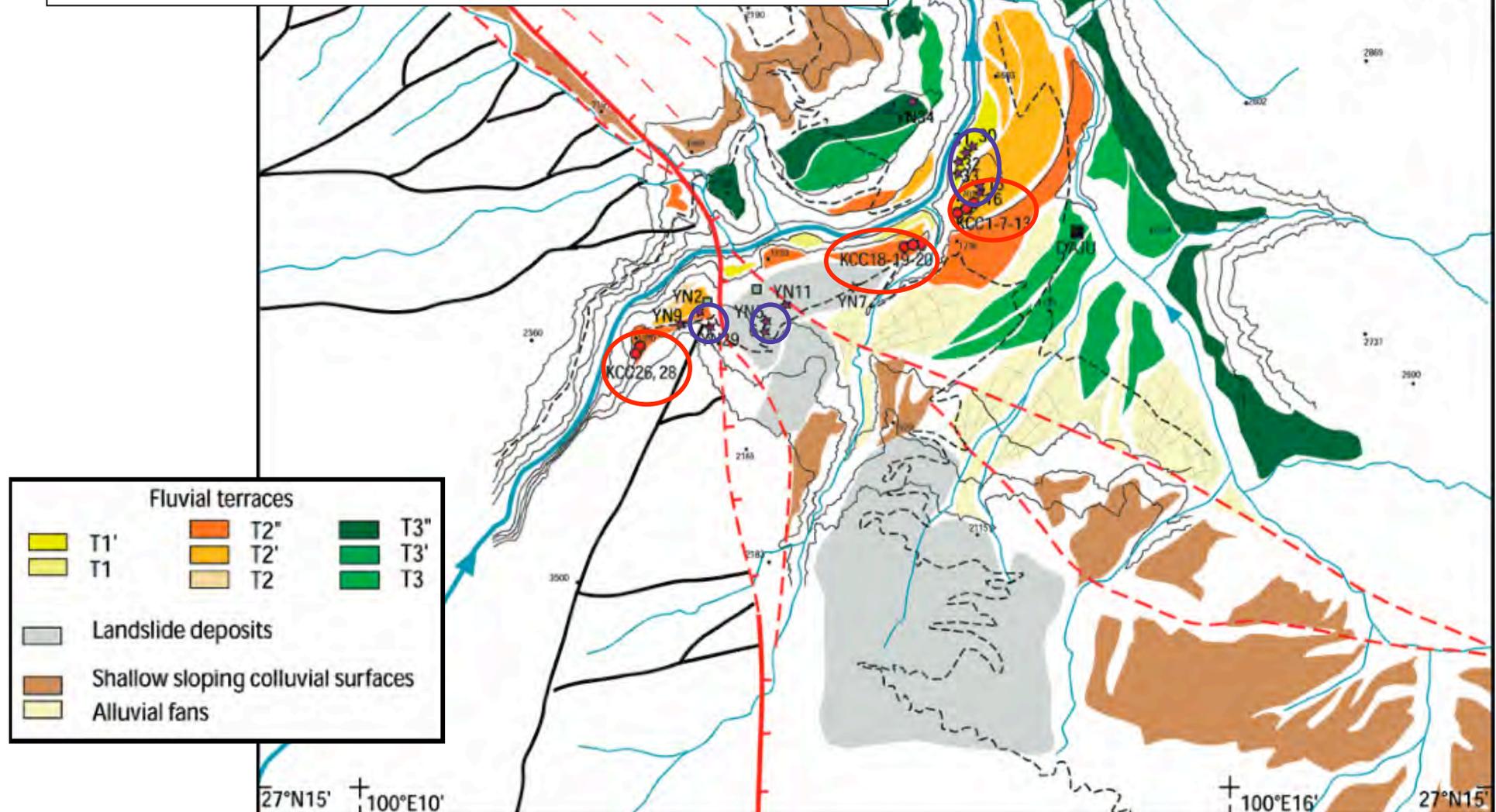
## Le bassin de Daju





Échantillonnage de 3 terrasses:

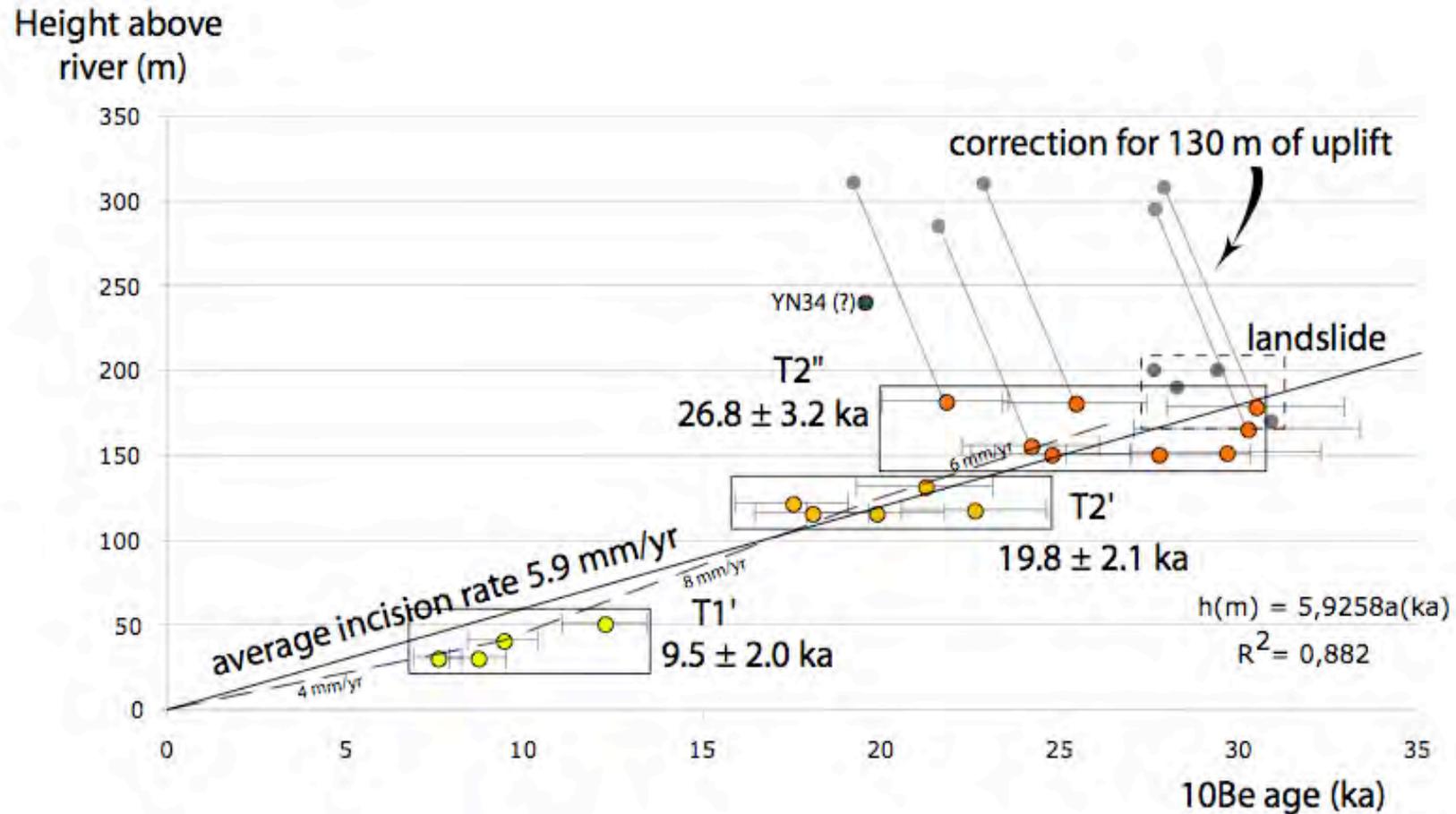
- en amont et en aval de la faille (5 échantillons)
- en aval de la faille (3 échantillons)



## Vitesse d'incision du Yangtze dans le bassin

Données:

- cette étude
- Kong et al. (2009)

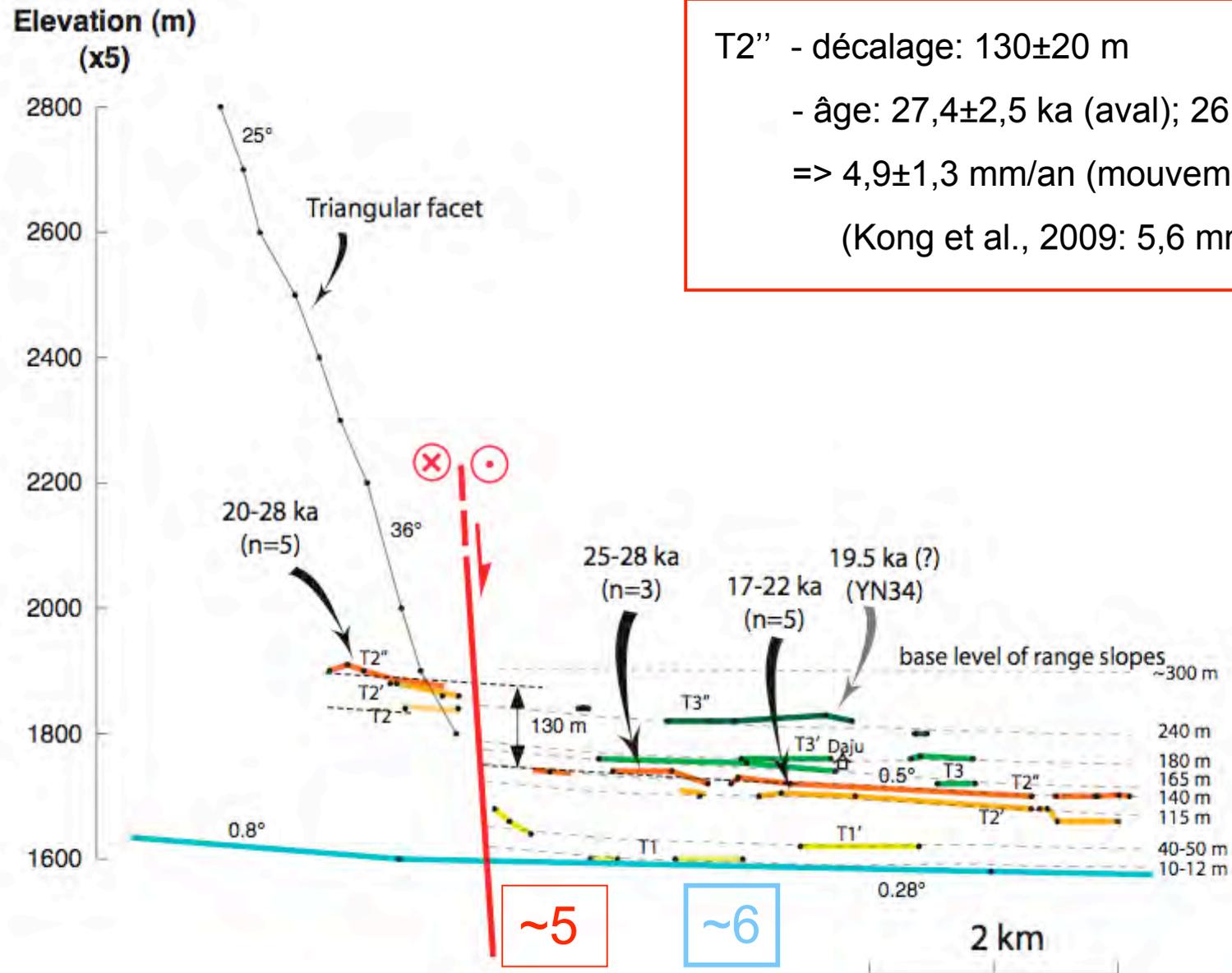


Incision moyenne dans le bassin: ~6 mm/an depuis au moins 30 ka



## Coupe des terrasses

## Vitesse de la faille de Daju



T2'' - décalage:  $130 \pm 20$  m

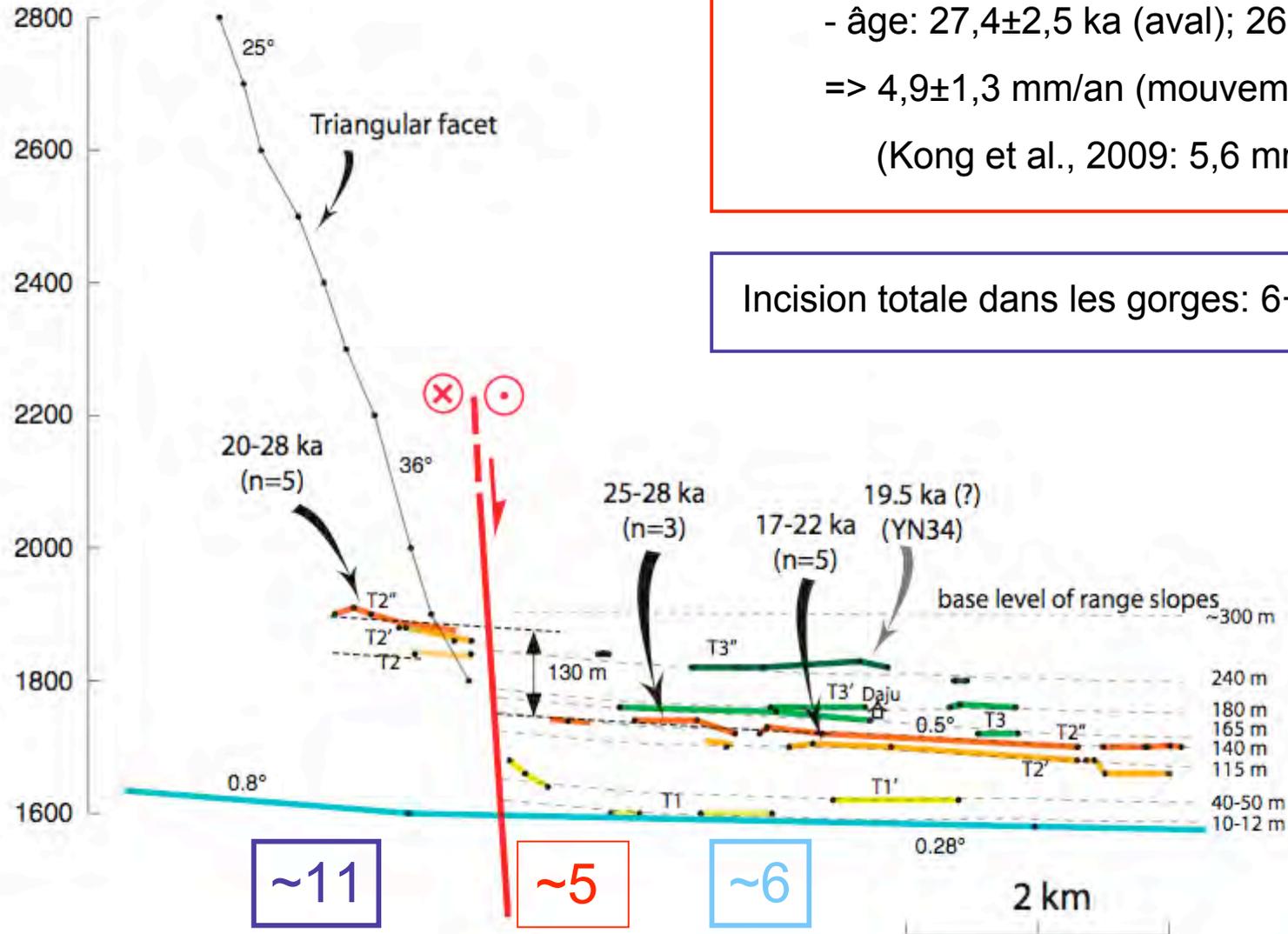
- âge:  $27,4 \pm 2,5$  ka (aval);  $26,4 \pm 3,8$  ka (amont)

=>  $4,9 \pm 1,3$  mm/an (mouvement vertical)

(Kong et al., 2009: 5,6 mm/an)

## Coupe des terrasses

## Incision dans les gorges

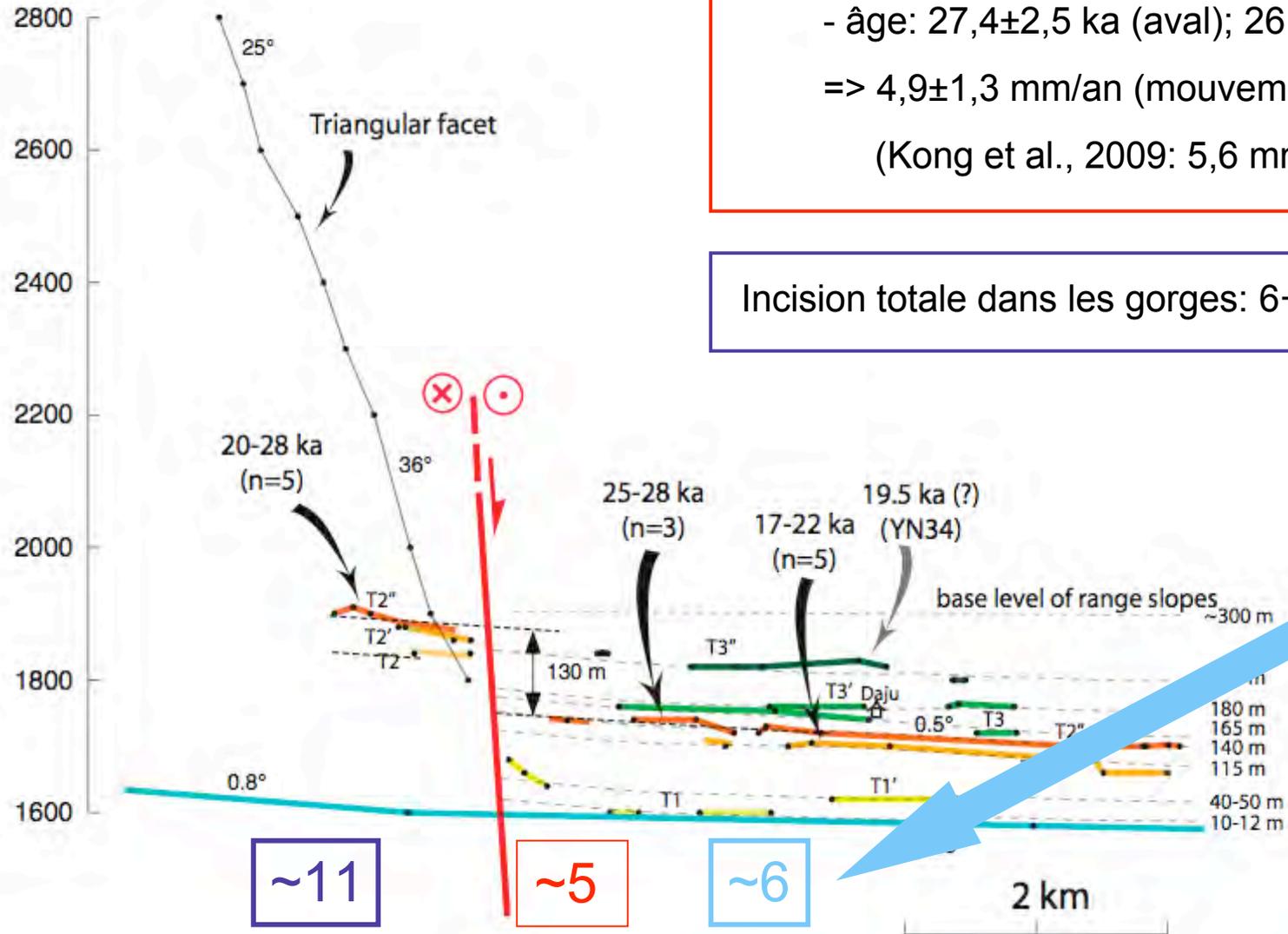
Elevation (m)  
(x5)T2'' - décalage:  $130 \pm 20$  m- âge:  $27,4 \pm 2,5$  ka (aval);  $26,4 \pm 3,8$  ka (amont)=>  $4,9 \pm 1,3$  mm/an (mouvement vertical)

(Kong et al., 2009: 5,6 mm/an)

Incision totale dans les gorges:  $6+5 \sim 11$  mm/an

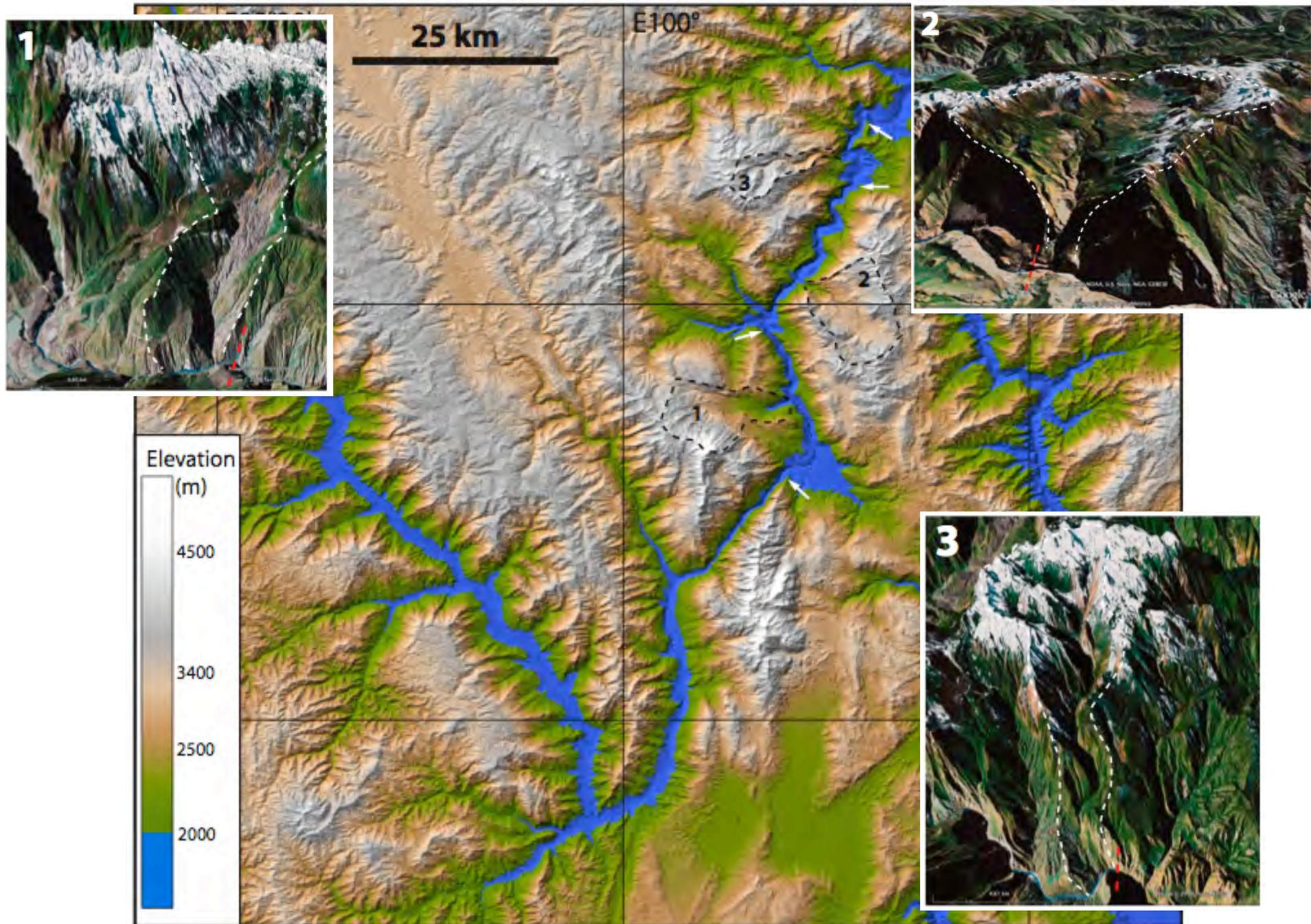
## Coupe des terrasses

## Incision dans les gorges

Elevation (m)  
(x5)T2'' - décalage:  $130 \pm 20$  m- âge:  $27,4 \pm 2,5$  ka (aval);  $26,4 \pm 3,8$  ka (amont)=>  $4,9 \pm 1,3$  mm/an (mouvement vertical)

(Kong et al., 2009: 5,6 mm/an)

Incision totale dans les gorges:  $6+5 \sim 11$  mm/an

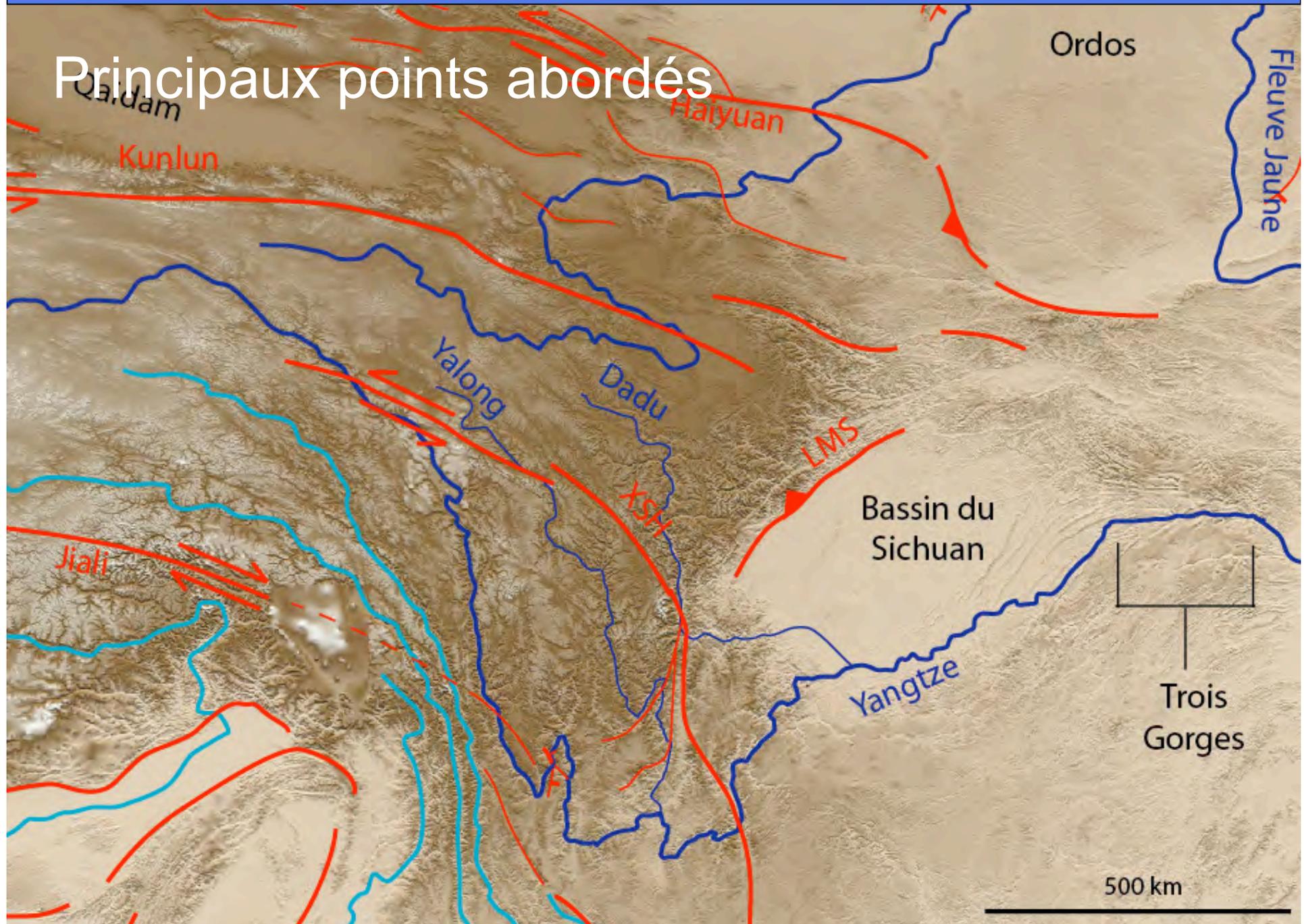


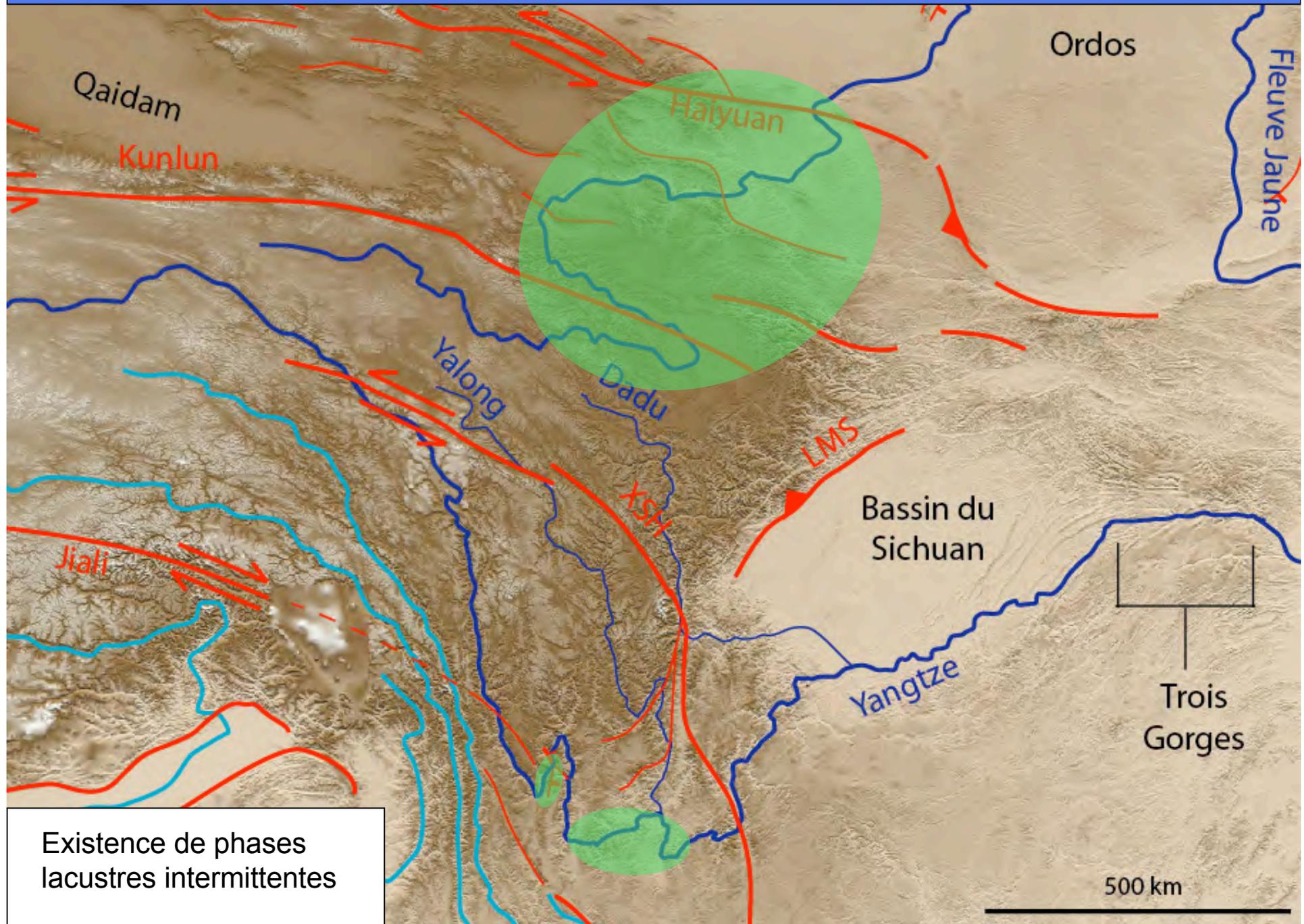
# Conclusion

- ◇ Vitesse moyenne (« régionale ») d'incision dans le bassin: 5,9 mm/an
  
- ◇ Barrage possible du fleuve par des moraines avant 30 ka
  
- ◇ Vitesse verticale de la faille normale de Daju:  $4,9 \pm 1,3$  mm/an  
Vitesse de glissement : ~6 mm/an (pendage de 50-60°)
  
- ◇ Vitesse d'incision (« locale ») dans les gorges de : ~11 mm/an

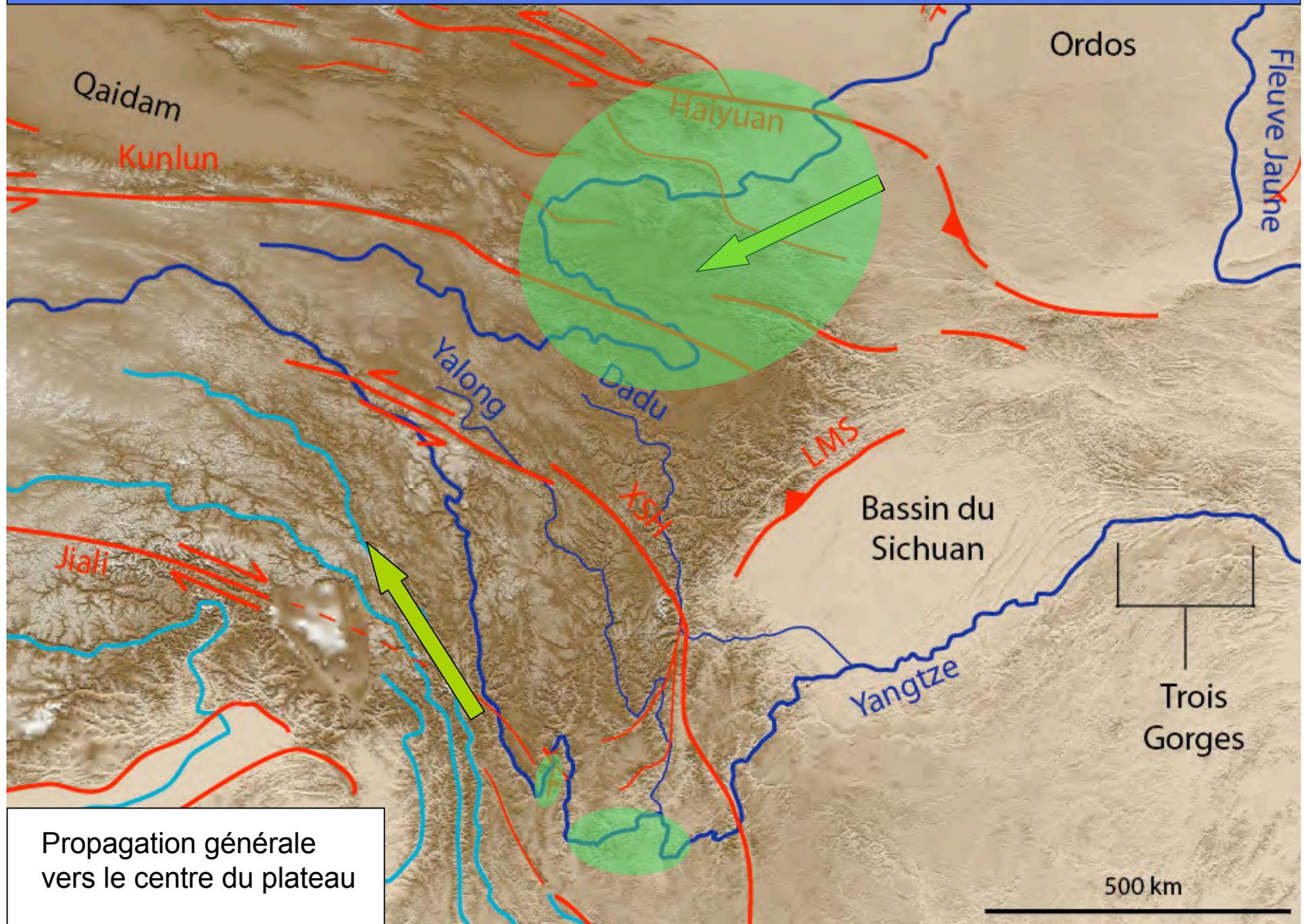
Conclusion générale

# Principaux points abordés

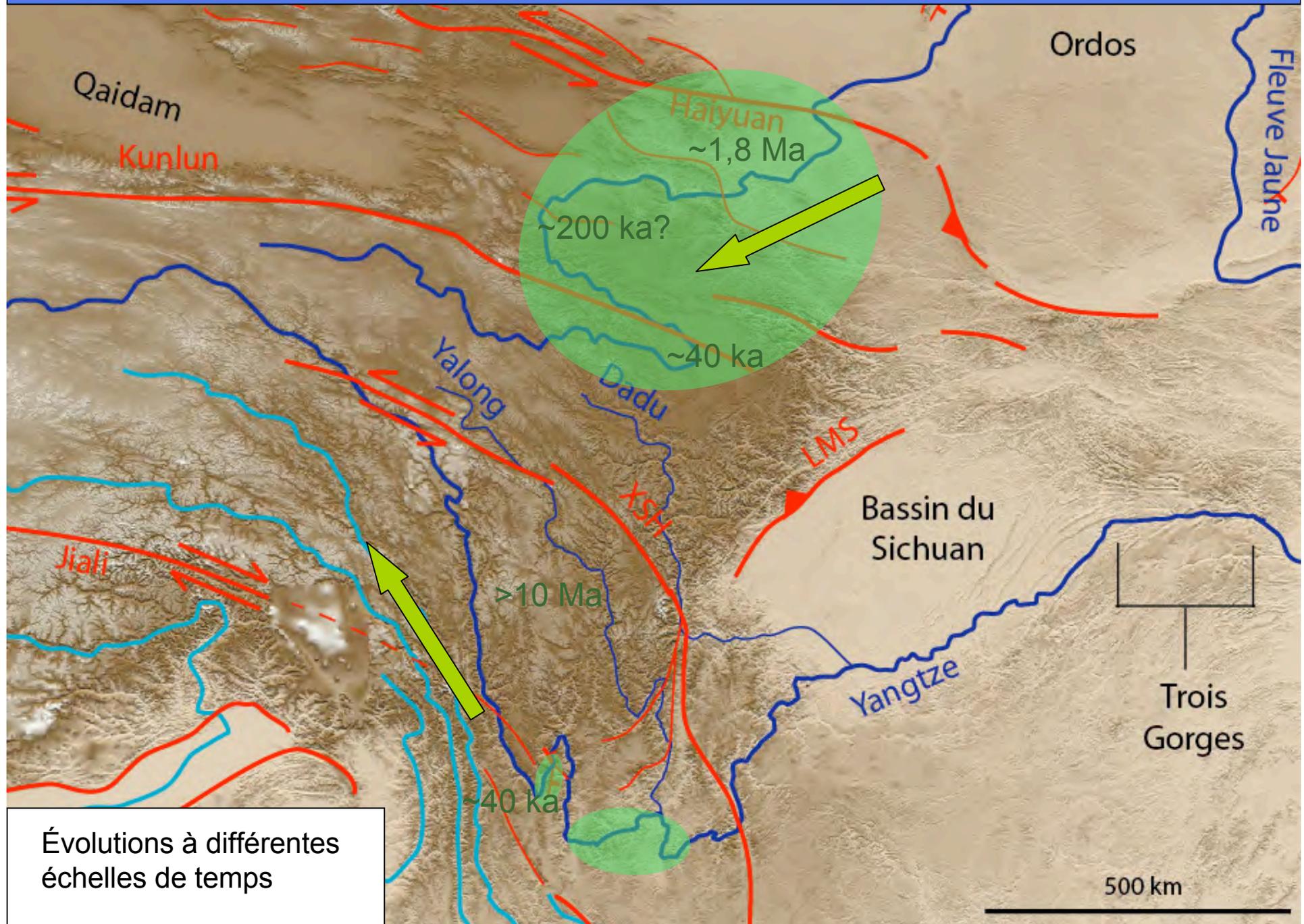




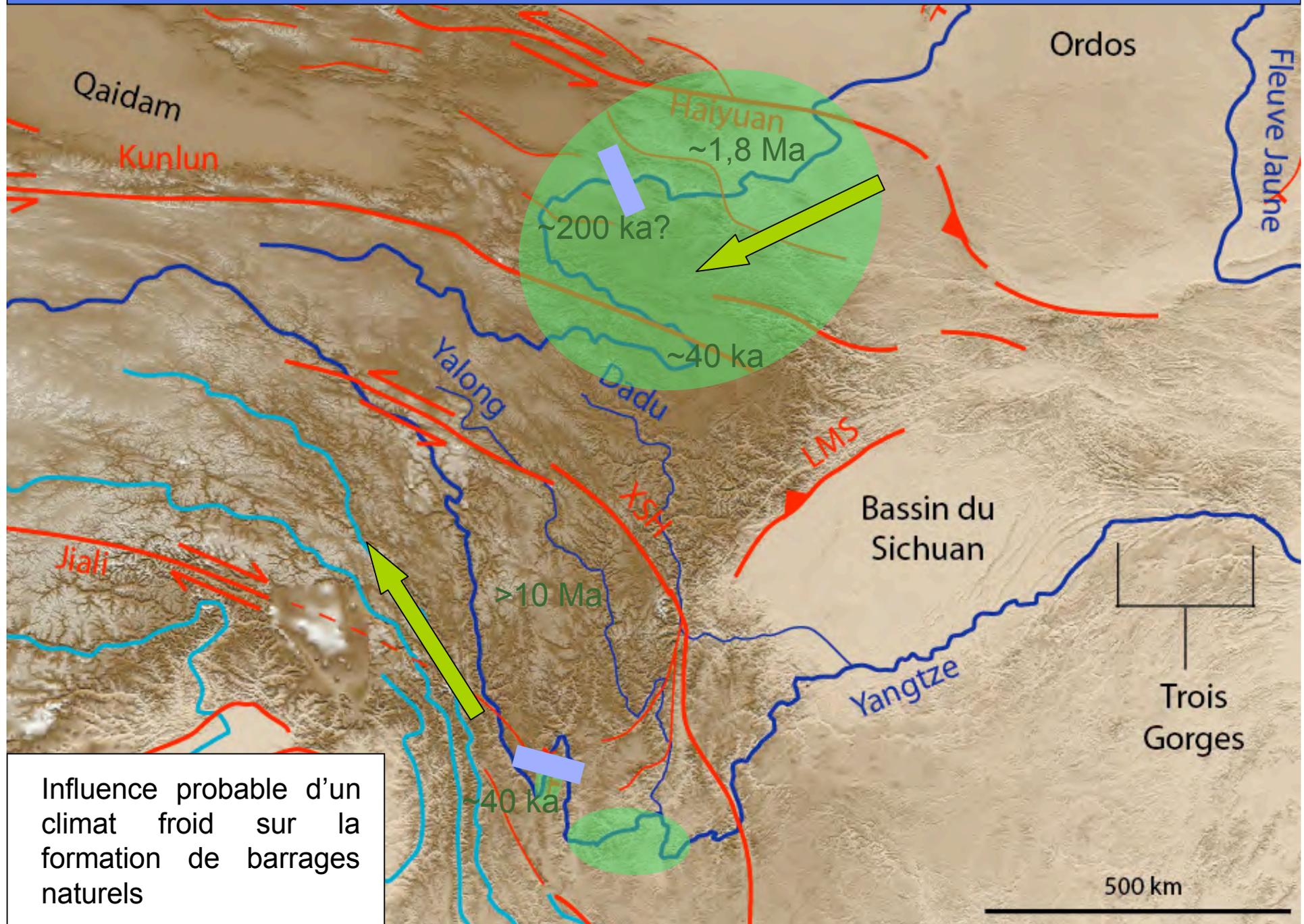
Existence de phases lacustres intermittentes



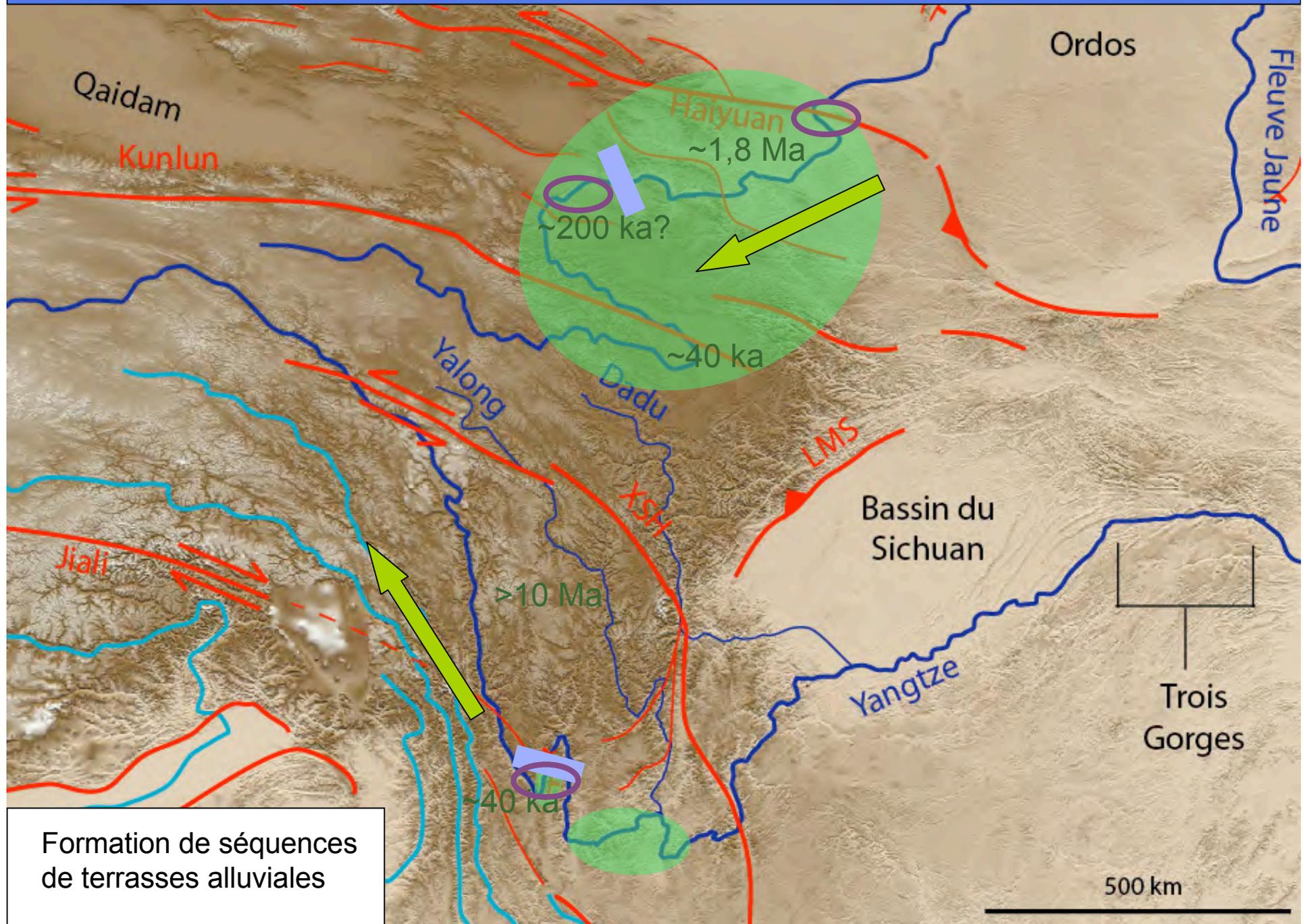
Propagation générale vers le centre du plateau



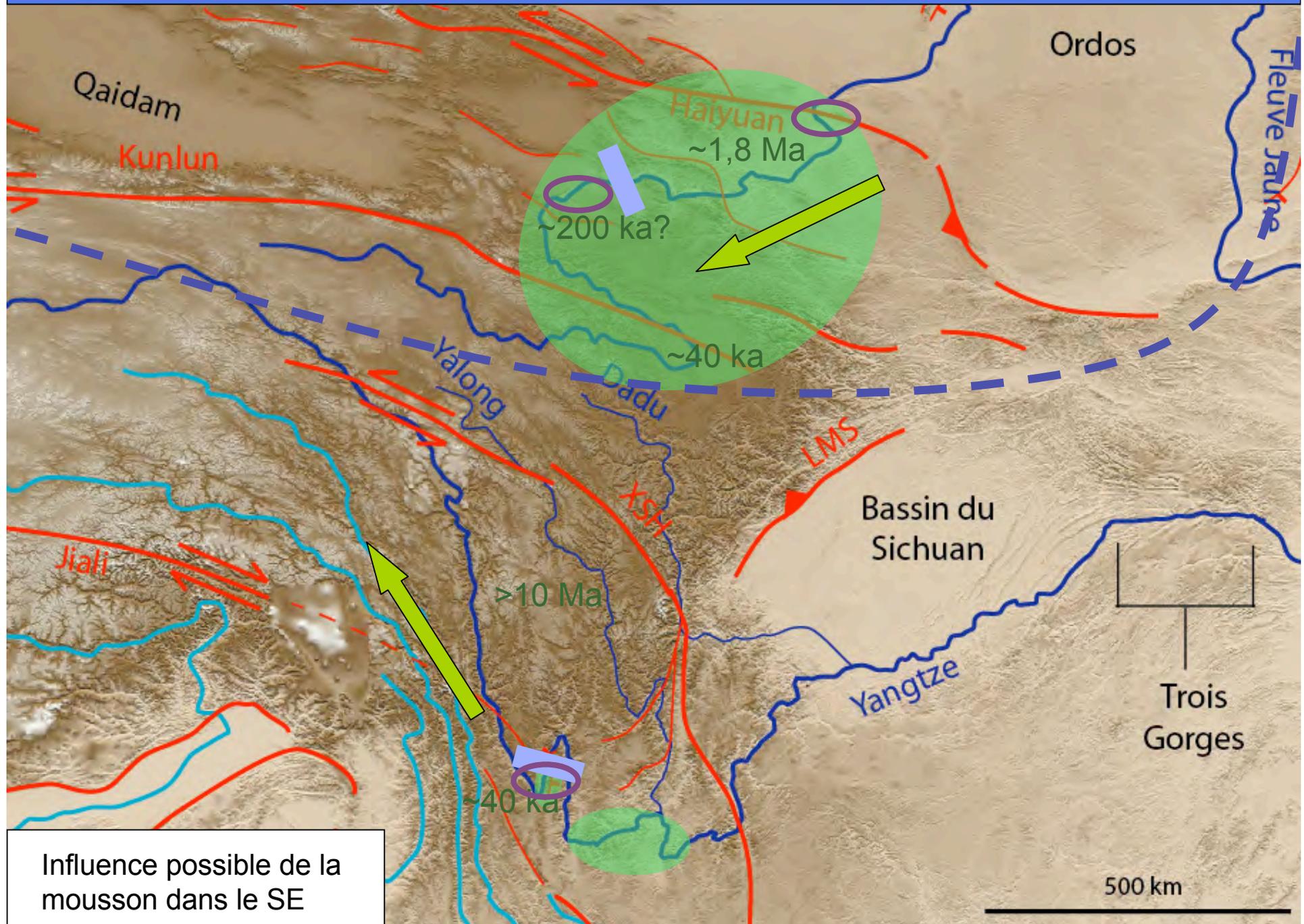
Évolutions à différentes échelles de temps



Influence probable d'un climat froid sur la formation de barrages naturels

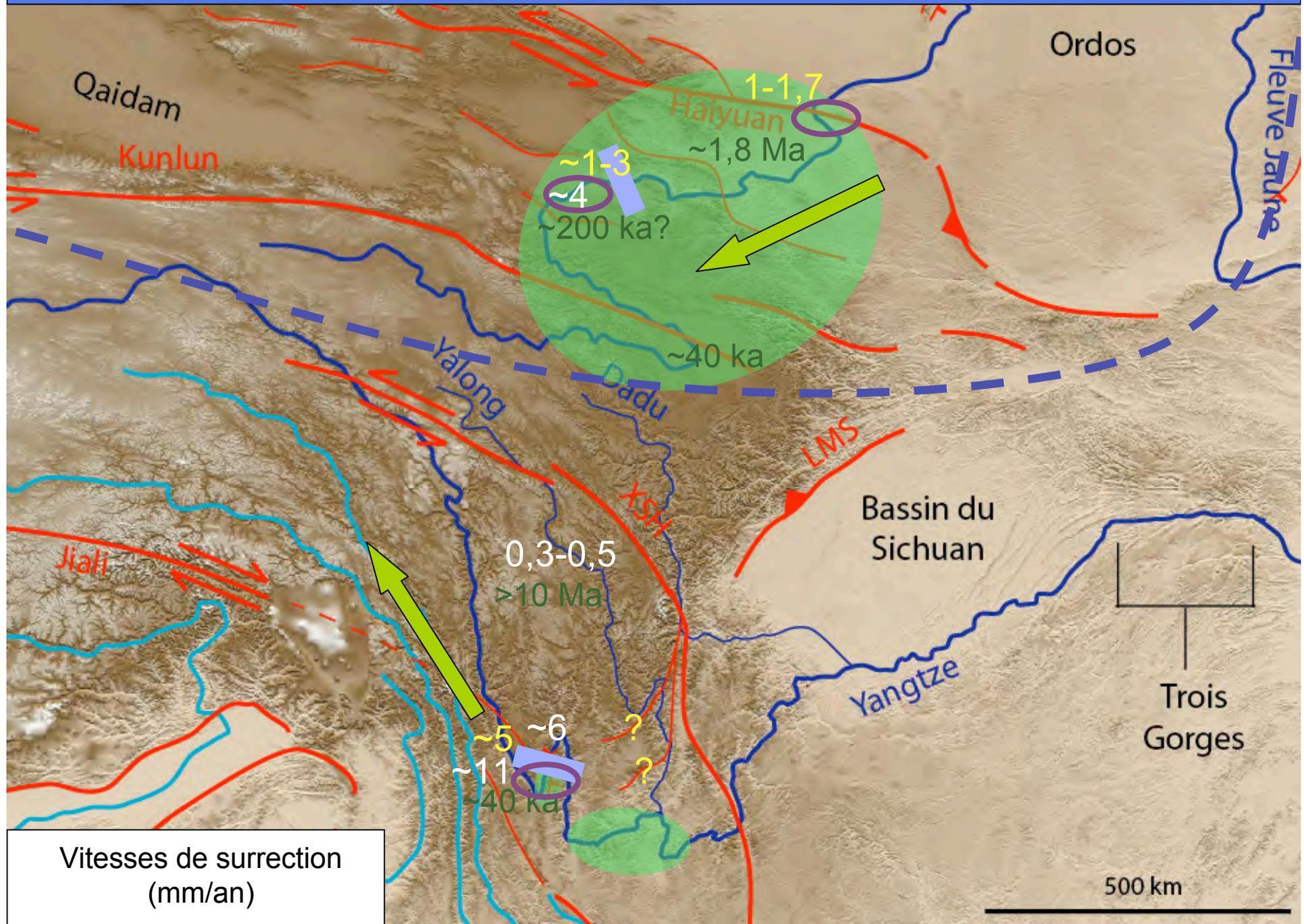


Formation de séquences de terrasses alluviales



Influence possible de la mousson dans le SE





# Synthèse

- (1) La stabilité des grands fleuves est relative; ils oscillent entre un état "disloqué" (phase lacustre) et un état "drainant" (phase de développement fluvial) durant le Quaternaire. La tectonique structure la géométrie du fleuve, le climat rythme le passage d'une phase à une autre. Les réseaux fluviaux plus anciens (SE) n'échappent pas à ces influences. Barrages, captures, phases lacustres/bassins temporaires caractérisent leur évolution.  
=> Le détail de cette évolution commence tout juste à être compris et nécessite encore beaucoup de travail.

# Synthèse

(1) La stabilité des grands fleuves est relative; ils oscillent entre un état "disloqué" (phase lacustre) et un état "drainant" (phase de développement fluvial) durant le Quaternaire. La tectonique structure la géométrie du fleuve, le climat rythme le passage d'une phase à une autre. Les réseaux fluviaux plus anciens (SE) n'échappent pas à ces influences. Barrages, captures, phases lacustres/bassins temporaires caractérisent leur évolution.

=> Le détail de cette évolution commence tout juste à être compris et nécessite encore beaucoup de travail.

(2) L'évolution du Fleuve Jaune au nord-est du Tibet s'accorde bien avec un modèle de croissance du plateau par incorporation de bassins sédimentaires devenus endoréiques par la croissance de chaînons chevauchants.

=> Il faut mieux contraindre les âges des terrasses et les vitesses de surrection des chaînons montagneux. La réalité de la linéarité des vitesses d'incision et de surrection doit être examinée de plus près.

# Synthèse

- (1) La stabilité des grands fleuves est relative; ils oscillent entre un état "disloqué" (phase lacustre) et un état "drainant" (phase de développement fluvial) durant le Quaternaire. La tectonique structure la géométrie du fleuve, le climat rythme le passage d'une phase à une autre. Les réseaux fluviaux plus anciens (SE) n'échappent pas à ces influences. Barrages, captures, phases lacustres/bassins temporaires caractérisent leur évolution.  
=> Le détail de cette évolution commence tout juste à être compris et nécessite encore beaucoup de travail.
- (2) L'évolution du Fleuve Jaune au nord-est du Tibet s'accorde bien avec un modèle de croissance du plateau par incorporation de bassins sédimentaires devenus endoréiques par la croissance de chaînons chevauchants.  
=> Il faut mieux contraindre les âges des terrasses et les vitesses de surrection des chaînons montagneux. La réalité de la linéarité des vitesses d'incision et de surrection doit être examinée de plus près.
- (3) La bordure sud-est du Tibet, plus ancienne, est plus complexe. La surface topographique semble discontinue et les chevauchements jouent un rôle.  
=> Le rôle des chevauchements et les causes de l'extension au sud (Daju) sont à clarifier.

Merci de votre attention