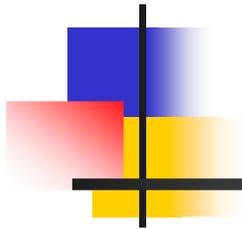


# Modélisation fractale du relief et du réseau de drainage des Cévennes méditerranéennes entre l'Aigoual et le mont Lozère

Application au bassin versant du Gardon (France)



Par : Ph. Martin<sup>1</sup>, M. Forriez<sup>1</sup>, L. Nottale<sup>2</sup>

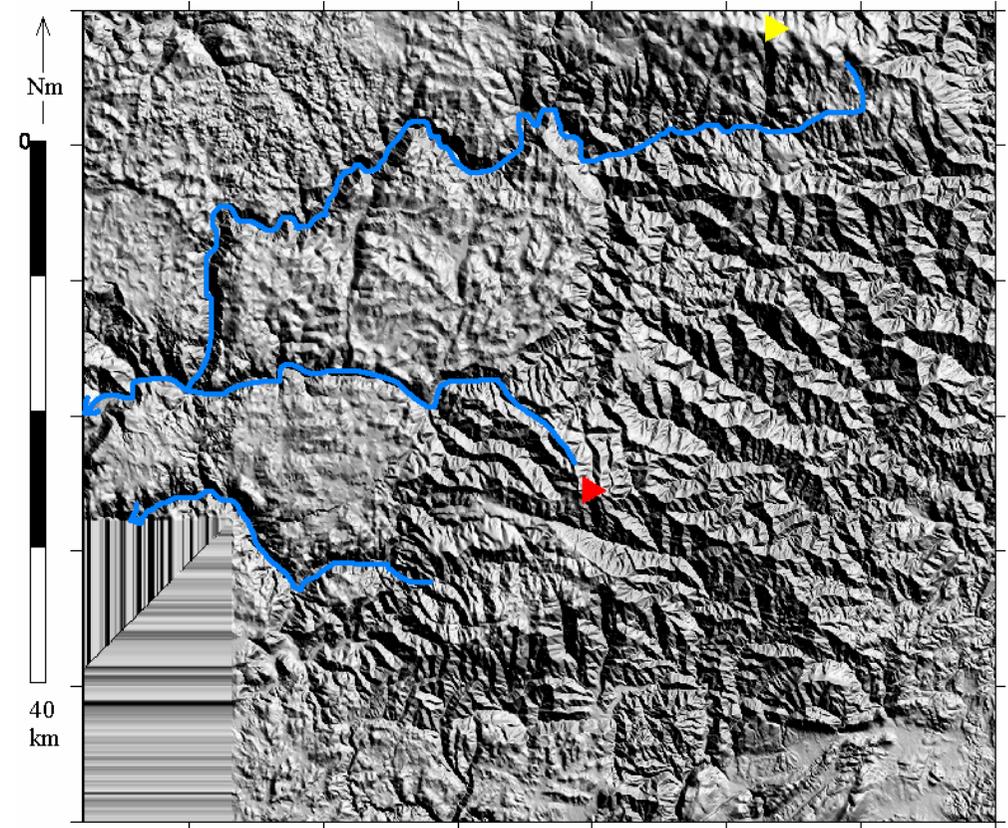
1 Université d'Avignon UMR 6012 ESPACE du CNRS

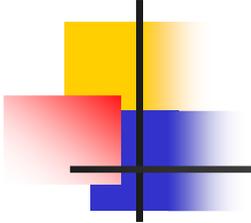
2 CNRS LUTH, Observatoire de Paris - Meudon

Nîmes - Octobre 2008

# Modèle numérique Causses - Cévennes IGN pas 50 m

- Opposition de style morphologique entre les Grands Causses à l'ouest et les Cévennes à l'est.
  - Du nord au sud : Tarn, Jonte, Dourbie.
  - En rouge l'Aigoual, en jaune le Lozère.
- L'étude porte sur les morphologies situées autour de l'Aigoual et entre l'Aigoual et le Lozère (BV des Gardons).





## Présentation de quelques éléments de la structure morphologique qui module les flux

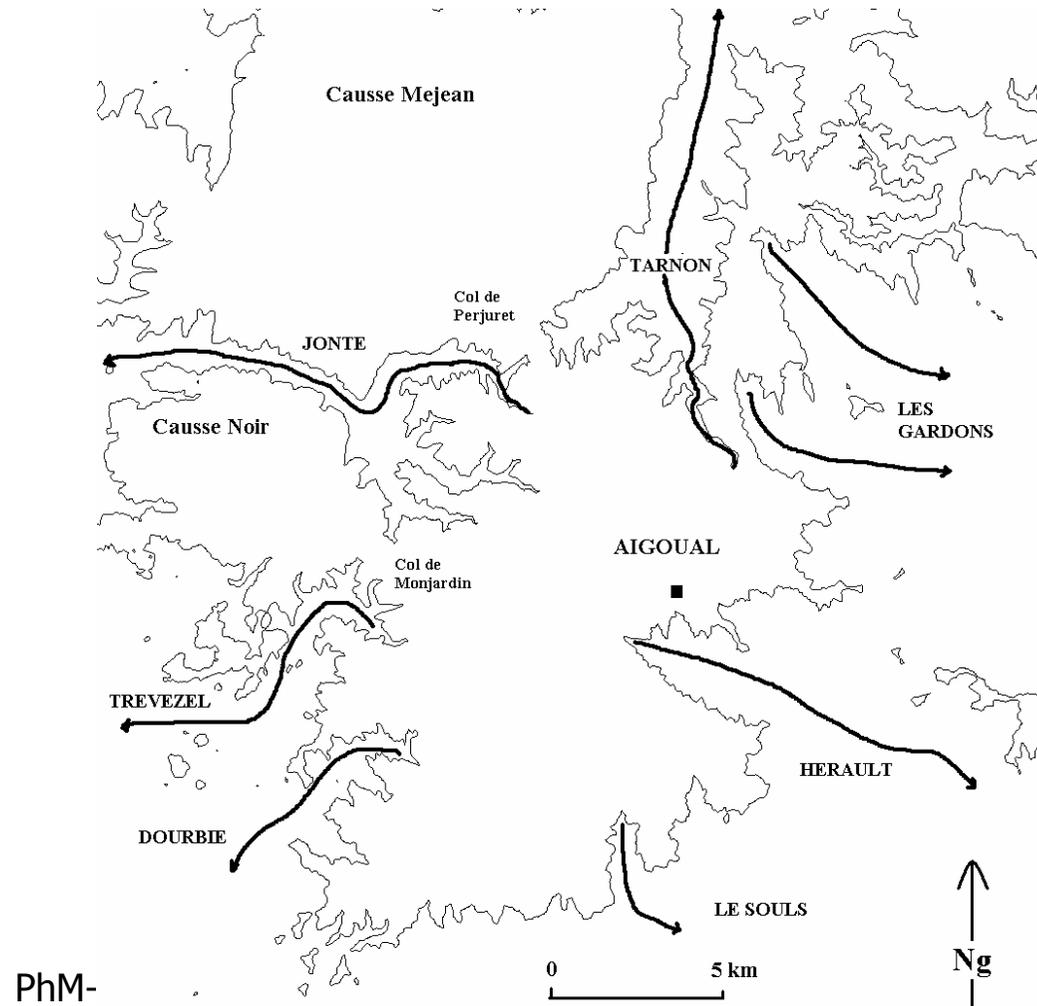
---

- -1- Les courbes de niveau sont presque toujours covariantes
- -2- L'irrégularité des courbes de niveau est fonction de l'altitude : cf. Aigoual
- -3- Dans le bassin versant du Gardon la relation entre l'irrégularité des CN et l'altitude est parabolique
- -4- Les profils des talwegs des Gardons sont différents d'autres établis dans le karst (problème d'infiltration ?)
- -5- Le réseau de drainage est plus ou moins covariant selon les sous bassins

# Causses - Cévennes :

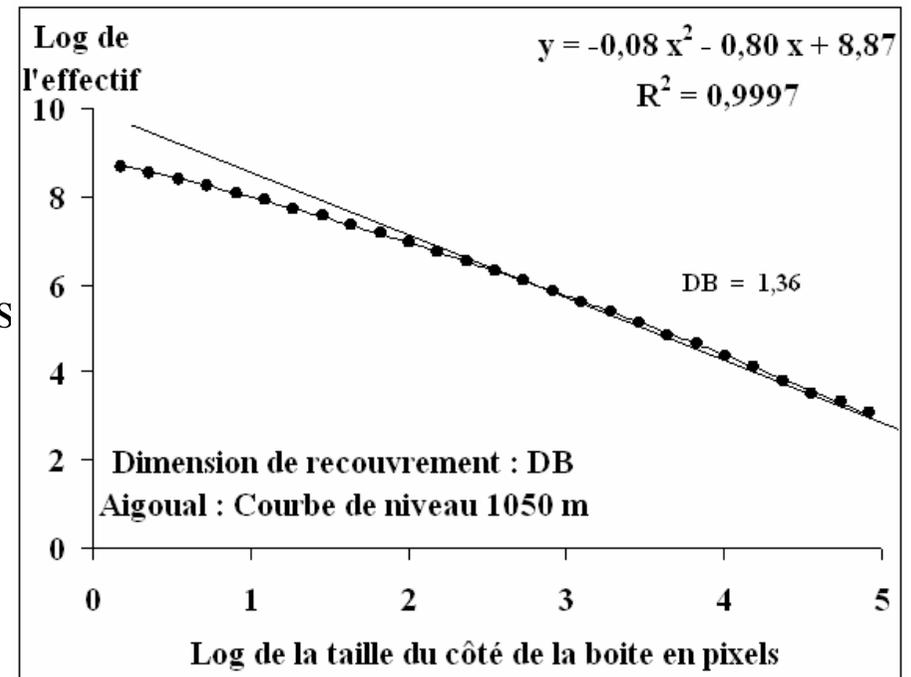
(exemple d'une courbe de niveau : CN)

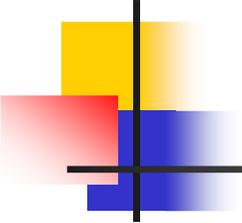
- Pour chaque courbe de niveau (de 50 en 50 m) entre 100 et 1450 m calcul de la dimension fractale
- Méthode : box counting ( $D_B$ )



# Des courbes de niveau covariantes à l'Aigoual

- La valeur de la dimension fractale varie en fonction de la taille de la jauge utilisée
  - Elle est plus faible aux grandes échelles et plus fortes aux petites.
  - Les points s'ajustent à un modèle parabolique avec  $C_c$  le coefficient de courbure.
  - Une dimension fractale asymptotique peut être calculée sur la partie la plus rectiligne ( $D_{BA}$ ).





# Combiner la dimension asymptotique et la courbure

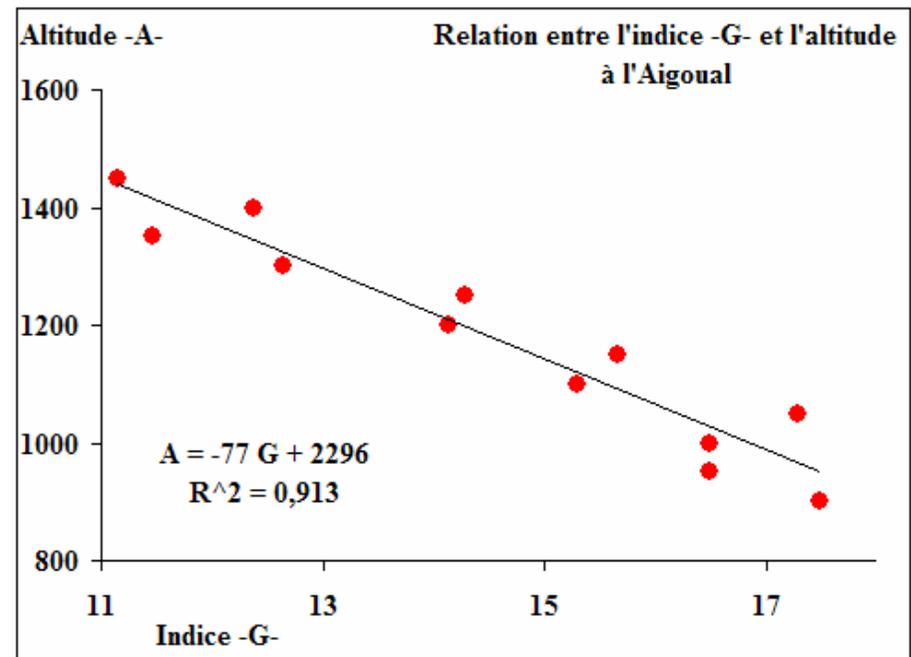
---

- $Cc$  est le coefficient de courbure.
- $D_{BA}$  la dimension fractale asymptotique obtenue avec la méthode des boîtes.
- $G$  est un premier indice qui s'interprète dans le cadre de la Théorie de la Relativité d'Echelle (Nottale L.)

$$G = \frac{|D_{BA}|}{|Cc|}$$

# Aigoual : relation linéaire entre l'altitude et l'indice -G-

- L'Aigoual : haute « pyramide », proche de la mer, fortement arrosée
- L'irrégularité du relief traduite par la covariance des CN est organisée altitudinalement (hauteur de chute)
- La dynamique érosive « efface » progressivement les paléo formes (lambeaux de SA)



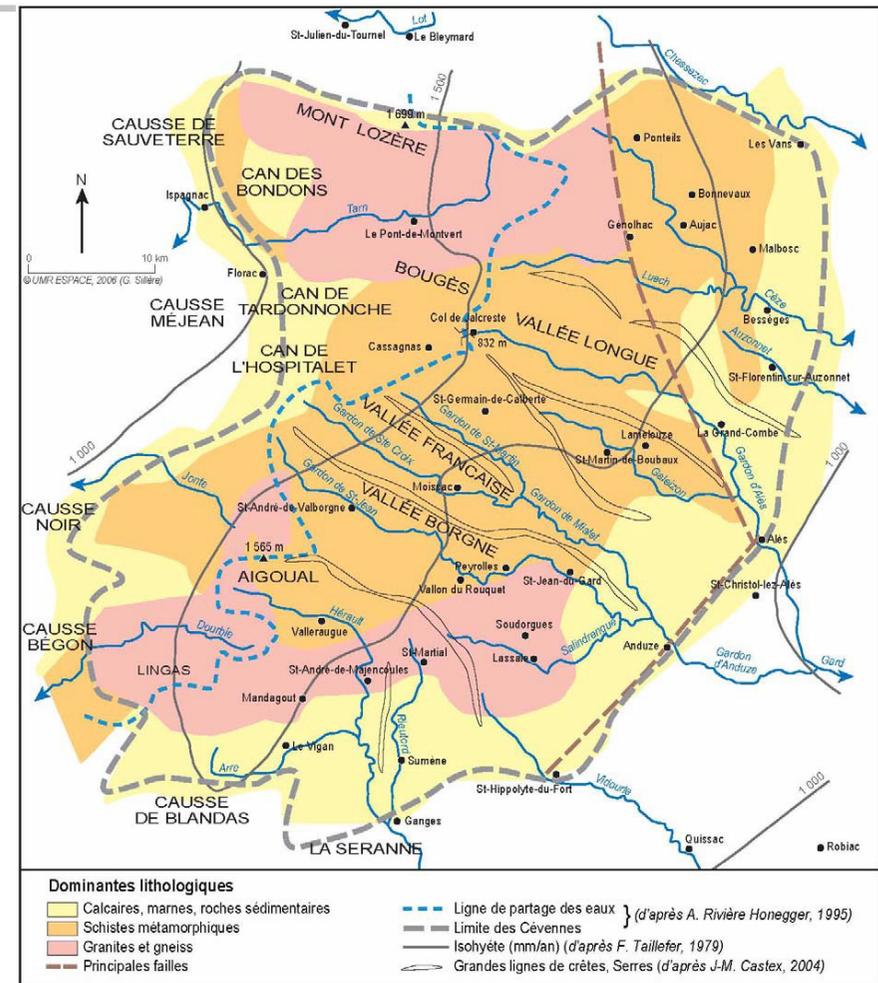
# Aigoual : aplanissement sommital



- Conservation de lambeaux de la surface d'érosion anté-triasique (250 Ma environ)
- Erosion limitée avec conservation de forme ?
- Il existe donc un gradient de la « force » de la dynamique qui croît de haut (1450 m) en bas (800 m)

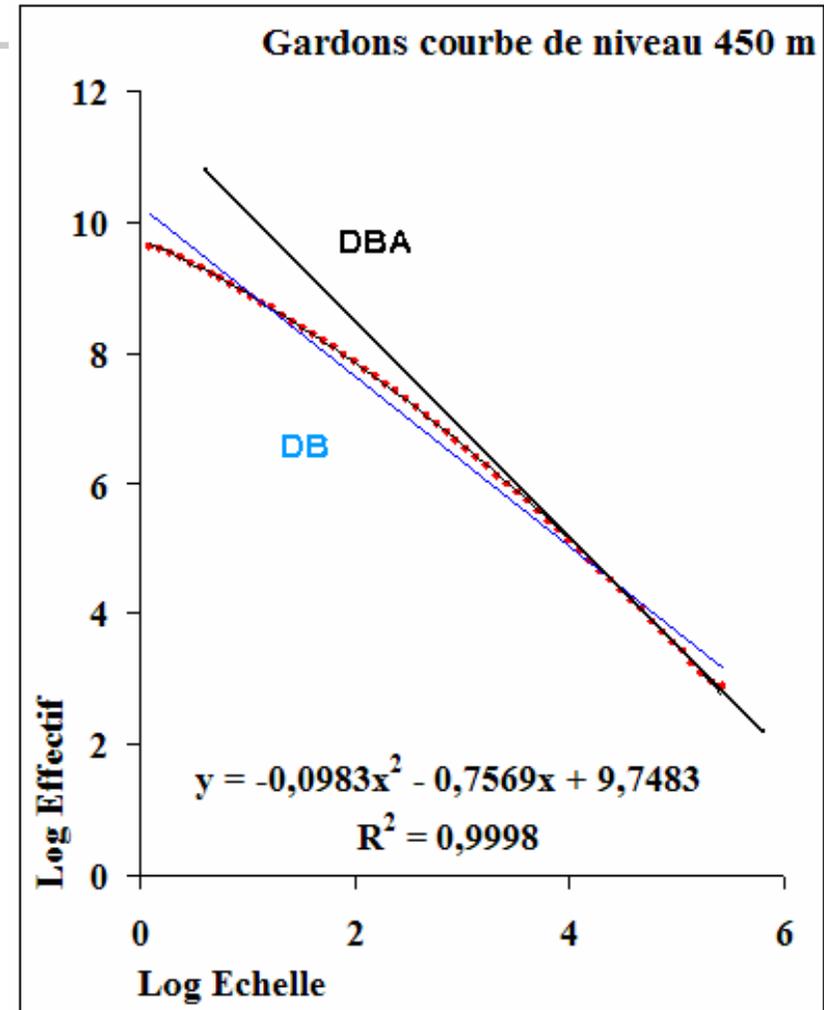
# Les formes en « creux » : drainage méditerranéen des Cévennes

- Ligne de partage des eaux entre Atlantique et Méditerranée
- Migration des cols et accroissement des bassins méditerranéens
- Les Gardons, affluents de rive droite du Rhône
- Etude du bassin versant des Gardons en amont de la confluence : Gardon d'Alès – Gardon d'Anduze



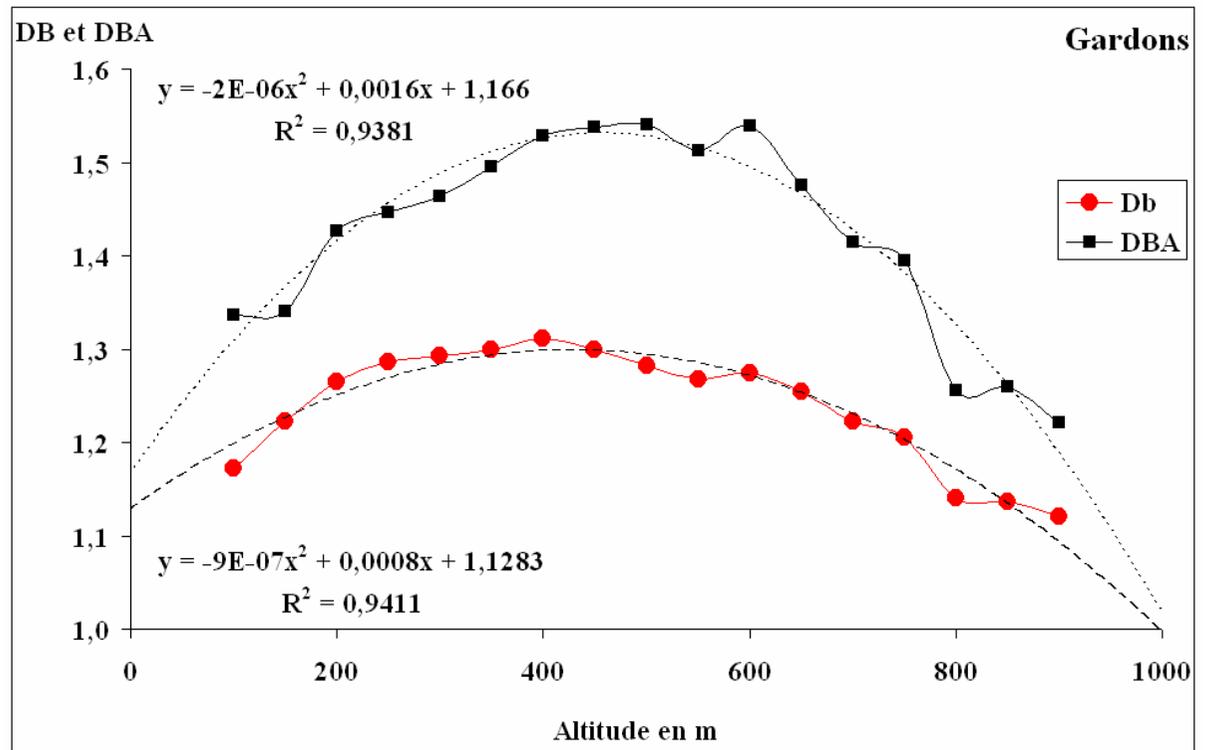
# Des courbes de niveau toujours covariantes

- La valeur de la dimension fractale varie en fonction de la taille de la jauge utilisée
  - Elle est plus faible aux grandes échelles et plus fortes aux petites.
  - Les points s'ajustent à un modèle parabolique avec  $C_c$  le coefficient de courbure.
  - $D_B$  est la dimension de la gamme médiane des échelles
  - Une dimension fractale asymptotique peut être calculée sur la partie rectiligne ( $D_{BA}$ )



# Altitude et dimensions fractales : Gardon (Alès – Anduze)

- Relation parabolique pour  $D_B$  et  $D_{BA}$
- Irrégularité maximale de ces courbes de niveau covariantes vers 450 m.



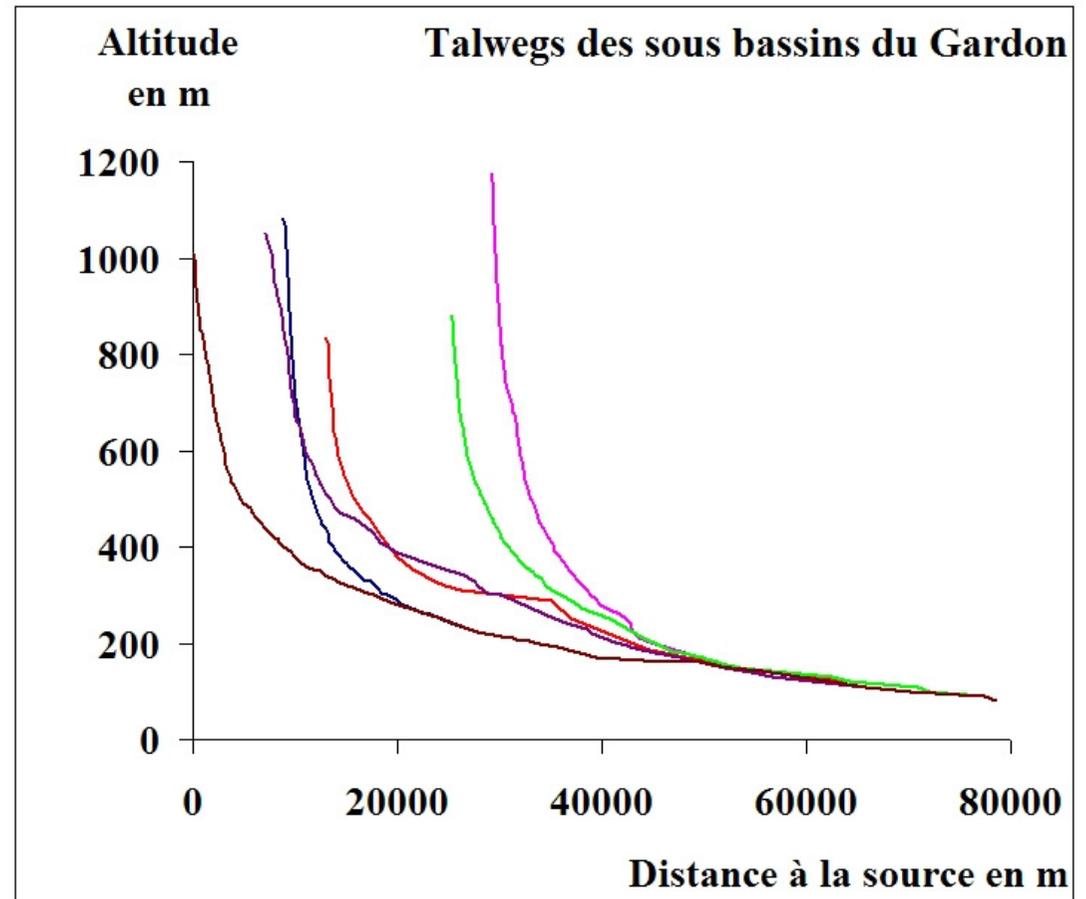
# Un relief qui dépend d'un niveau régressif de la mer atteint vraisemblablement au moment de la dernière glaciation

- Si  $D_{BA} = 1$  alors l'altitude correspondante est celle de la borne inférieure du potentiel de glyptogénèse
- Valeurs déduites des modèles
  - $D_{BA} = 1 \rightarrow H_0 = -113 \text{ m } \pm 4 \text{ m}$
  - Pour  $H = 453 \text{ m}$  ;  $D_{BA} = 1,57$  (valeur maximale)
- Le relief actuel est donc un paléo relief qui a dû guère évoluer depuis la fin du Wurm sauf très localement et sous l'effet d'actions anthropiques
- L'irrégularité, donc la taille de la surface soumise à l'altération, est maximale vers 450 m

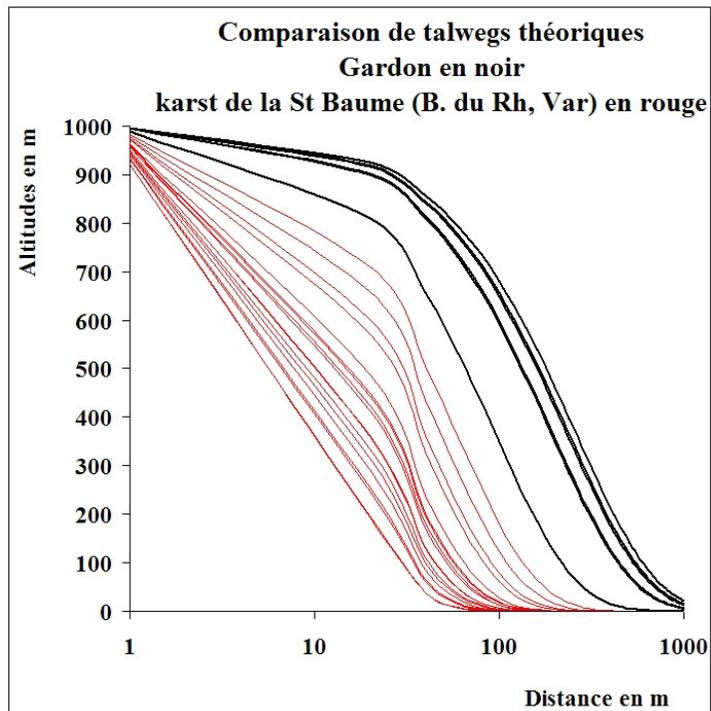
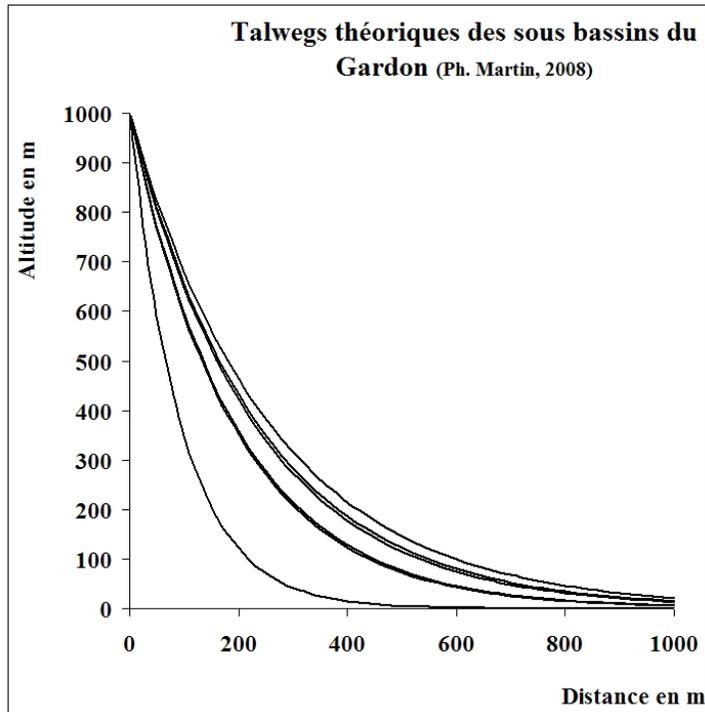
# Modélisation des talwegs

- Double exponentielle sur le type du modèle de Gompertz :

$$H_d = H_0 \times e^{-ad^m}$$



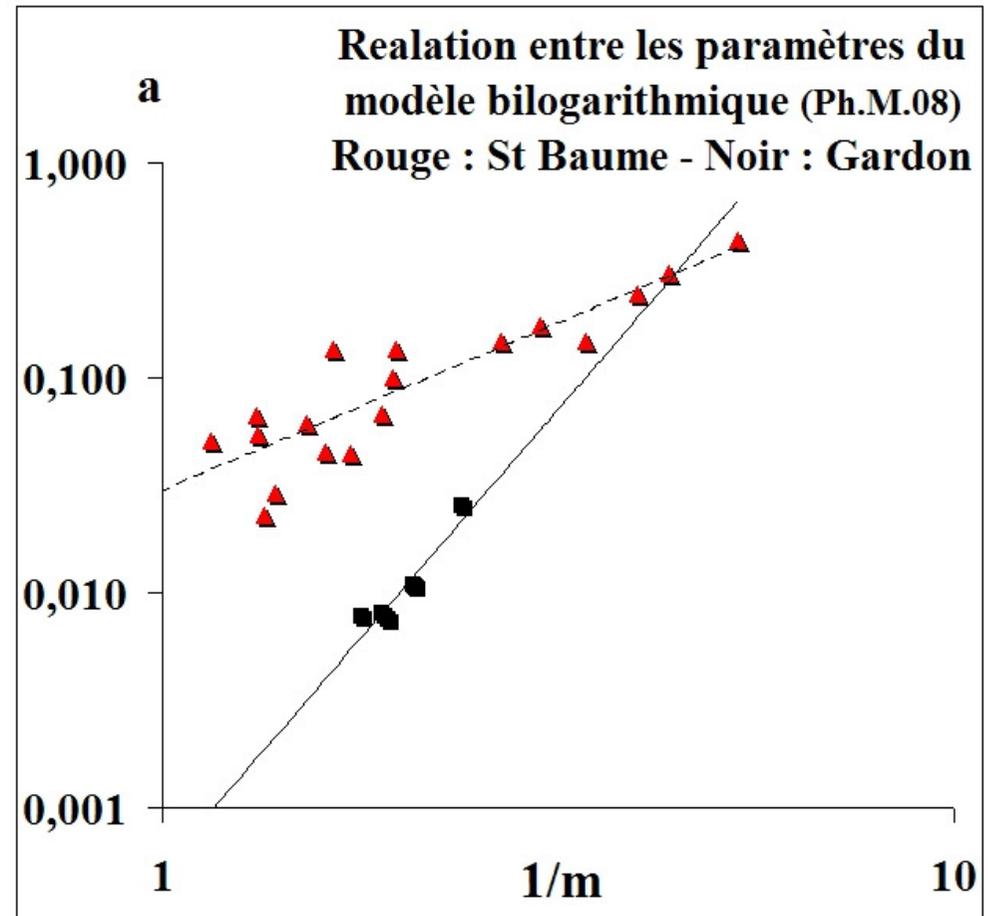
# Comparaison des pentes de talwegs



- Gardon : des profils variables
- Mais pour les Gardons, des pentes initiales beaucoup plus faibles que dans un karst (St Baume)

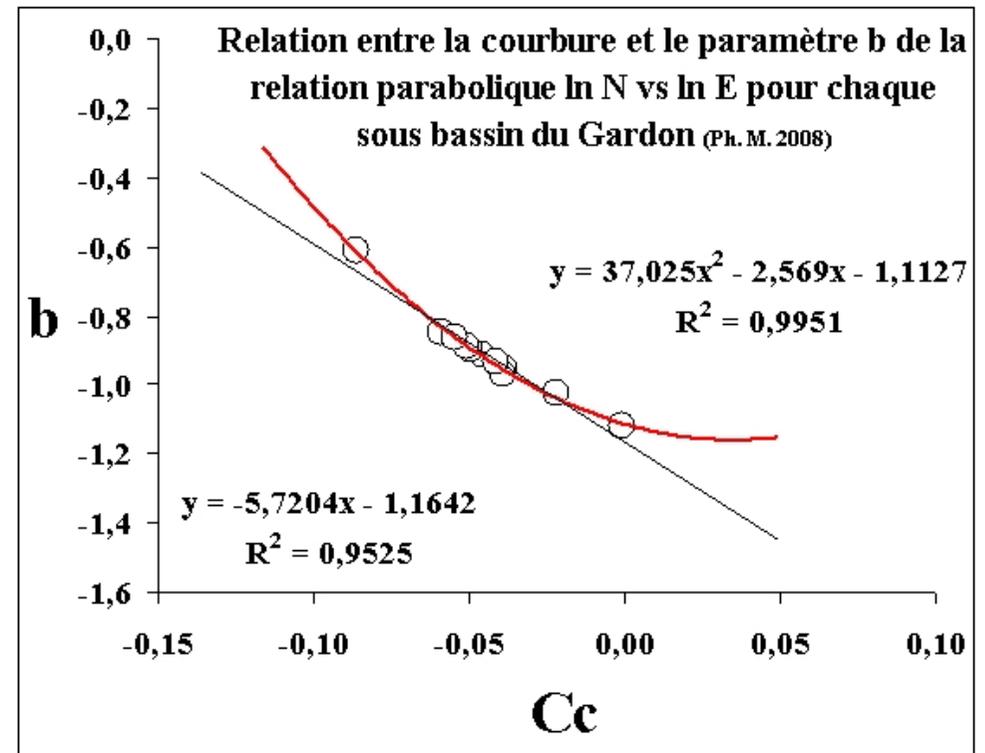
## Relation : $a$ vs $1/m$

- - $a$ - caractérise la pente initiale ; - $m$ - la pente finale du talweg
- Relation linéaire entre les paramètres  $a$  et  $1/m$
- Gardon : les pentes initiales sont infiniment plus faibles que pour le karst.
- Un problème d'infiltration ?

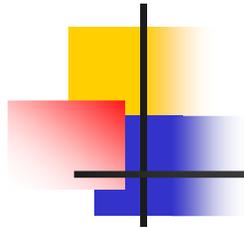


# Un réseau de drainage covariant avec des différences entre sous bassins

- Désagrégation spatiale du réseau en grands sous bassins
- Certains sous BV sont fortement covariant d'autres non
- L'irrégularité du réseau aux grandes échelles est donc (très ?) variable



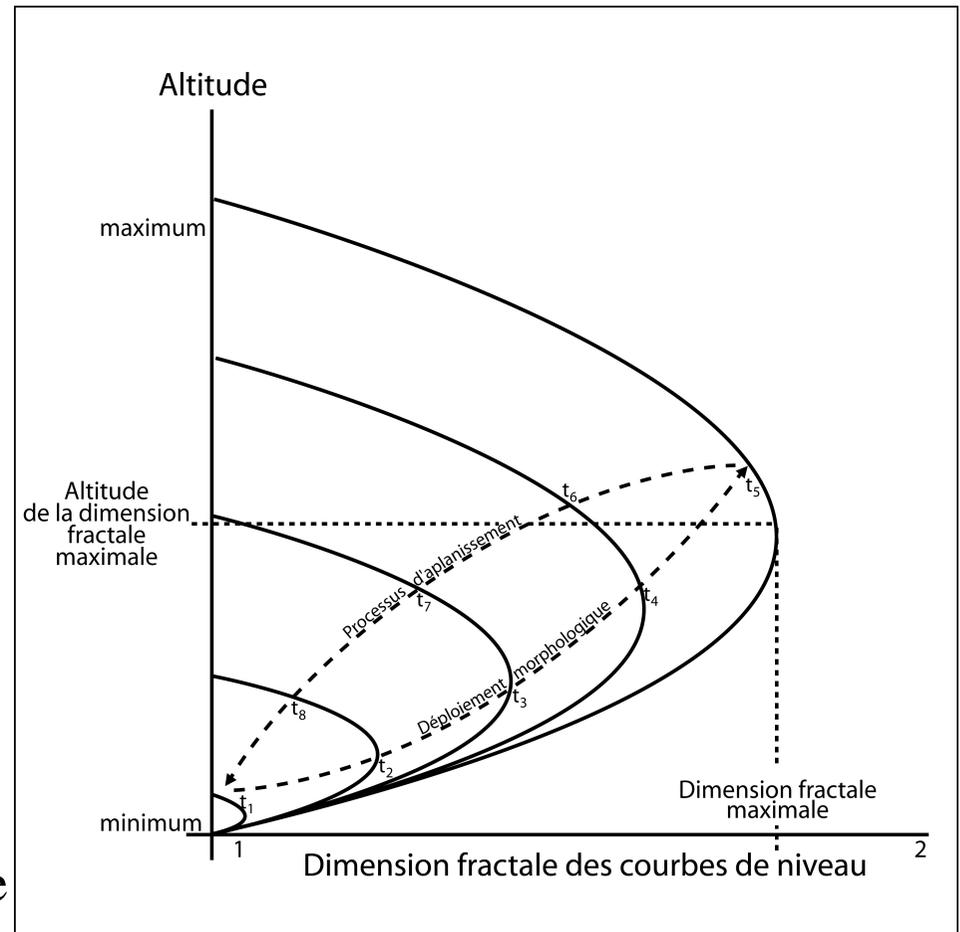
# Rapport entre l'arbre des distances parcourues par l'eau et l'arbre des distances à vol d'oiseau



- Cheminement d'amont en aval
  - Tous les cheminements entre les confluences du réseau et l'exutoire sont considérés
  - Calcul d'un indice de tortuosité :  $I_T$
- $L_E$  = Longueur du cheminement de l'eau
  - $L_V$  = Longueur à vol d'oiseau
- $$I_T = \frac{L_E}{L_V} = 1,5 \pm 0,2$$
- Valeur constante quelle que soit la partie de l'arbre considérée

# Modèle conceptuel de transformation de la surface d'un bassin versant

- Dynamiques conjecturées d'un bassin versant à partir de l'étude fractale des courbes de niveau (CN)
- La petite parabole est placée en fonction des caractéristiques probables de BV d'une surface d'aplanissement ( $t_1$ )
- La grande ( $t_5$ ) en fonction des caractéristiques des Gardons
- La transformation morphologique se réalise en fonction de l'accroissement de l'altitude et grâce à l'augmentation de la dimension fractale ( $1 > D_{CN} > 2$ )
- La fin de ce cycle correspond à une « contraction » de l'étendue de la surface qui est un processus d'aplanissement



# Comprendre les morphologies nécessite un espace temps à 5 dimensions

- Tout relief se déploie d'abord dans les 3 dimensions classiques : longueur, largeur, hauteur = 3D
- Tout cycle orogénique se déroule dans le temps long (de 200 à 300 Ma) = 4<sup>e</sup>D
- La dynamique joue depuis des échelles millimétriques (cristaux = 1/10 mm) jusqu'à des échelles pluri kilométriques (100 à 1000 km) = 5<sup>e</sup>D
- Toute surface de relief est une fractale, présentant des rapports d'échelle plus ou moins covariants, et qui devrait pouvoir être mise en relation univoque avec le réseau qui la draine.

Merci de votre attention

