

**Voyage d'étude en Nouvelle-Zélande**

**Gestion du transport solide  
dans les cours d'eau**

Décembre 2003

Réalisé par : Grégory Rolandez

Tuteur scientifique :

- Eric Gaume (CEREVE)

Personnes ayant soutenues le projet :

- Mme Cambon (Conseil Régional Rhône-Alpes)

- M. Lorient (Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents)

## Préambule et avertissement

Ce document fait suite à un voyage en Nouvelle-Zélande ; il propose un regard naturaliste sur les rivières néo-zélandaises, très spécifiques du fait d'une hydrologie intense et de la forte activité qui en découle. L'étude des rivières néo-zélandaises peut de plus être utile aux gestionnaires français dans le cas de rivières à fort charriage (telles que l'Arve, la Drôme, l'Eygues...).

Le but de ce document est avant tout de garder la trace de cette expérience, très enrichissante de part ses nombreuses visites sur le terrain, mais aussi de la rencontre de professionnels locaux ; garder la trace mais aussi la partager, ne serait-ce qu'avec ces personnes qui m'ont aidé à mieux comprendre la nature fascinante qui les entoure.

Il se veut accessible à toute personne, même néophyte, qui souhaiterait s'intéresser à ces rivières.

Il mêle aussi bien données scientifiques qu'observations et impressions personnelles ; à ce titre il n'engage que moi.

Grégory Rolandez

## TABLE DES MATIERES

|   |    |
|---|----|
| I. Introduction .....   | 4  |
| II. Présentation générale des rivières néo-zélandaises .....                                | 6  |
| A. Géographie .....   | 6  |
| B. Les principaux cours d'eau .....   | 7  |
| C. Géologie .....   | 12 |
| D. Climat .....   | 14 |
| III. Le transport des sédiments en NZ.....  | 17 |
| A. De la source à la mer, le mécanisme général du transport solide .....                    | 17 |
| 1. Les sédiments.....   | 17 |
| 2. Origine des matériaux .....  | 17 |
| 3. Le transport des matériaux.....  | 17 |
| 4. Le dépôt des sédiments .....   | 18 |
| 5. Les styles fluviaux .....  | 19 |
| B. Données quantitatives du transport solide en Nouvelle Zélande .....                      | 20 |
| C. Application à quelques rivières néo-zélandaises.....                                     | 21 |
| 1. Région est de l'île du Sud (Dart, Shotover, Kawarau) .....                               | 21 |
| 2. Région ouest de l'île du Sud (Buller, Haast) .....                                       | 23 |
| 3. Région de l'île du Nord – la Waiapu .....  | 25 |
| D. Evolution historique du transport solide .....   | 27 |
| E. Les conséquences du transport solide sur le milieu naturel et sur les enjeux .....       | 27 |
| 1. Transport solide et génie civil.....   | 28 |
| 2. Transport solide et atterrissement .....   | 29 |
| 3. Transport solide et nappe phréatique .....   | 29 |
| 4. Transport solide et milieu naturel .....   | 29 |
| IV. La gestion des sédiments.....   | 31 |
| A. Une gestion à l'amont du bassin versant.....   | 31 |
| B. Les outils réglementaires.....   | 32 |
| C. Comparaison avec la France et la Drôme.....  | 33 |
| 1. Cas de la Drôme (d'après le SAGE).....   | 34 |
| V. Conclusion .....   | 35 |
| A. La question de la prévision du niveau moyen de la cote de fond du lit d'une rivière..... | 35 |
| VI. Personnes Rencontrées.....  | 38 |

## I. INTRODUCTION

L'objectif principal de ce projet est l'observation des rivières néo-zélandaises et l'analyse des méthodes de gestion des sédiments.

Ce type d'étude fait appel à 2 domaines ou 2 « métiers » qu'il a fallu appréhender en parallèle et dont on se rend vite compte que les problématiques sont très liées : celui de l'hydrologie et celui de la géomorphologie.

Pour schématiser la problématique terrain de l'hydrologue, on peut dire qu'il est amené à se poser 2 grandes questions :

- où va l'eau de pluie ?
- d'où vient l'eau des rivières ?

Y répondre est difficile même si le scientifique dispose de nombreux outils (modèles physiques et mathématiques qui relient la pluie aux débits des rivières) et de données d'observation (comme celles relevées aux stations hydrométrique).

Le géomorphologue fluvial confronté au transport sédimentaire se pose quant à lui des questions similaires :

- où vont les sédiments ?
- d'où proviennent-ils ?

Contrairement à la problématique hydrologique, il ne dispose que d'une théorie partielle et les données sont rares, même si la gestion des flux de sédiments est importante et commence à être prise en compte dans le cadre des SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) en France.

Malgré ce manque d'éléments théorique, la Nouvelle Zélande s'est révélée être un site approprié pour traiter du transport solide dans les rivières ; les précipitations importantes conjuguées à de fortes pentes, ainsi que les régimes hydrologiques peu perturbés, occasionnent des débits sédimentaires importants qui peuvent dépasser 1 million de tonnes par an pour certains bassins.

Les changements géomorphologiques fluviaux sont donc beaucoup plus rapides que dans nos rivières alpines. L'étude historique de l'évolution des rivières néo-zélandaises depuis l'arrivée des premiers européens au XIX<sup>ème</sup> siècle permet de suivre les réponses apportées par le système fluvial à ces différentes pressions subies depuis 200 ans par le milieu (pression de la pratique pastorale par exemple).

L'impact anthropique est plus facilement identifiable en Nouvelle-Zélande du fait d'un passage d'un certain état d'équilibre à un état perturbé en quelques décennies alors que nos rivières alpines ont connu de nombreuses perturbations, et depuis très longtemps ; pour ces dernières se pose alors le problème d'un état d'équilibre de référence.

Ce document présente tout d'abord les caractéristiques physiques de la Nouvelle-Zélande. Il fait ensuite un rappel des principales notions de transport solide.

Dans la troisième partie, l'observation de quelques rivières caractéristiques sera l'occasion d'illustrer les propos théoriques.

Enfin la quatrième et dernière partie concerne la gestion particulièrement difficile des sédiments par les aménageurs. Une comparaison entre la Drôme et la Nouvelle Zélande terminera ce document ; elle permettra de souligner les différences et similitudes entre les deux pays.

## **II. PRESENTATION GENERALE DES RIVIERES NEO-ZELANDAISES**

### **A. Géographie**

La Nouvelle-Zélande est constituée de deux îles principales qui s'étendent sur 1600 km du nord au sud pour une superficie totale de 270 000 km<sup>2</sup>.

L'île du Nord et l'île du Sud possèdent d'importantes montagnes formées selon deux processus géologiques différents. L'île du Nord est la conséquence d'une activité volcanique intense alors que l'île du Sud s'est formée par la rencontre de deux plaques tectoniques. Bien que cette dernière île reçoive des précipitations importantes et subisse de ce fait les conséquences de l'érosion, la chaîne alpine continue de croître de 1 cm par an.

La partie située à l'est est composée de plaines et de cultures. La partie ouest connaît un relief plus marqué et bloque les nuages ce qui explique des cumuls de précipitations annuels de l'ordre de 10 000 mm ! Comme une grande partie de cette eau retourne aux rivières, le réseau hydrographique est très dense. La plus longue rivière est la Waikato : 425 km. Elle se situe dans le nord du pays. Les lacs sont également nombreux. Le lac Taupo est le plus grand.



Figure 1 : Carte administrative de la Nouvelle Zélande

## **B. Les principaux cours d'eau**

Etant donné les précipitations très importantes enregistrées sur les deux îles, ce n'est pas étonnant que la ressource en eau soit importante. Elle est estimée à  $300 \text{ km}^3/\text{an}$  rien que pour les rivières. Seul  $2 \text{ km}^3/\text{an}$  est utilisée pour les besoins domestiques, industriels et agricoles.

Le réseau hydrographique est constitué de rivières courtes mais puissantes. A titre d'exemple, dans l'île du sud, de la Nouvelle-Zélande, le débit spécifique moyen annuel du fleuve Haast (bassin versant de  $1\,321 \text{ km}^2$ ) est de  $138,5 \text{ l/s/km}^2$ , soit l'équivalent d'une lame d'eau<sup>1</sup> écoulée de  $4,40 \text{ m}$  (à titre de comparaison, le débit spécifique de l'Arve, né au glacier du Mont-Blanc (bassin versant de  $1\,654 \text{ km}^2$ ), est de  $43 \text{ l/s/km}^2$ , c'est-à-dire une lame écoulée de  $1,4 \text{ m}$ ). Cela veut dire que les apports à la rivière sont trois fois supérieurs en Nouvelle Zélande.

<sup>1</sup> La lame d'eau représente la valeur du débit moyen annuel converti en mm, c'est à dire la hauteur d'eau répartie uniformément sur le bassin versant qui s'est écoulé pendant un an.

Les deux grandes particularités des rivières néo-zélandaises sont :

- une variabilité des débits (rapport de l'écart type sur le débit moyen) ;
- un débit solide spécifique très élevé.

Ces particularités expliquent que la qualité des eaux de surfaces soit excellente.

Les plus grandes variations de débits s'observent dans l'île du sud où les zones de drainage sont associées à des zones de pluies très irrégulières. C'est le cas de l'Otago du Nord et de l'Otago Central, deux régions sèches à l'est des alpes néo-zélandaises.



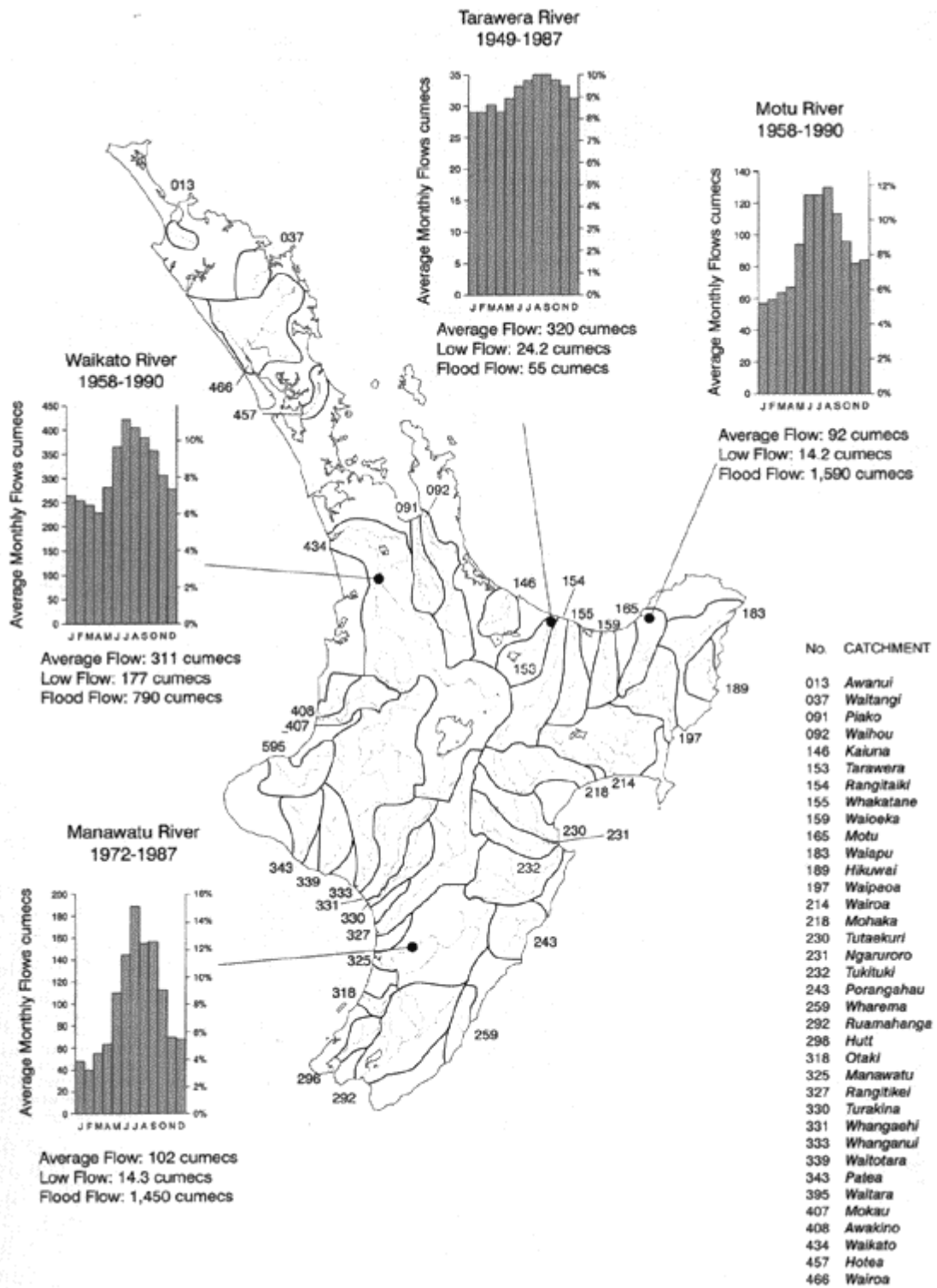


Figure 2 : Rivières de l'île du Nord (d'après Duncan, 1992)

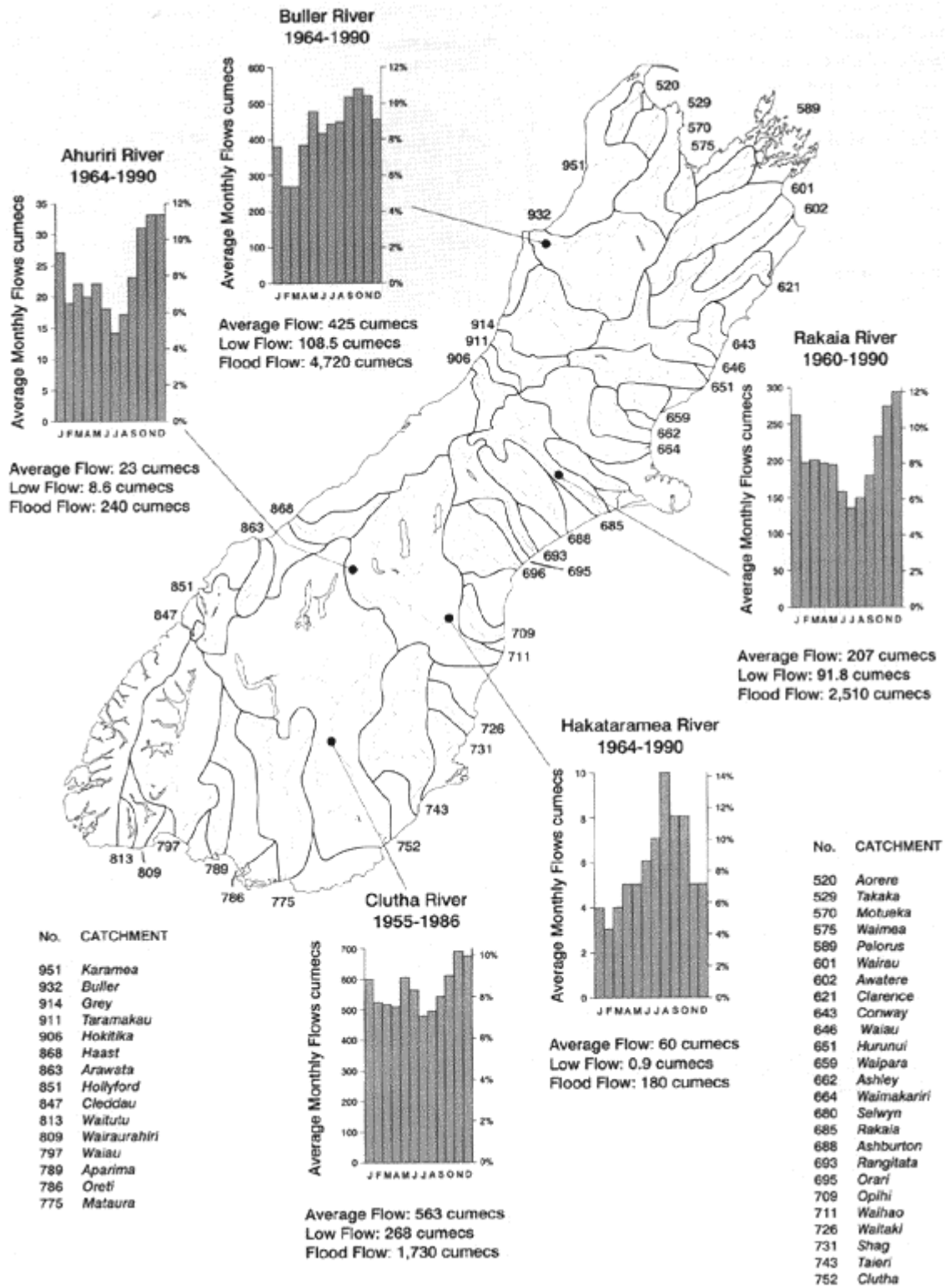


Figure 3 : Rivières de l'île du Sud (d'après Duncan, 1992)

Il existe 8 rivières avec un débit annuel moyen supérieur à 200 m<sup>3</sup>/s :

- la Clutha : Q=570 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau<sup>2</sup> de 860 mm/an)
- la Buller : Q=425 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 2110 mm/an)
- la Waitaki : Q = 369 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 1190 mm/an)
- la Grey : Q=353 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 2780 mm/an)
- la Waikato : Q=311 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 860 mm/an)
- la Wanganui : Q=221 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 1050 mm/an)
- la Kowarau : Q=211 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 1520 mm/an)
- la Rakaia : Q =207 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 2530 mm/an)

En France, le débit moyen de la Loire à son embouchure est de 850 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 230 mm), celui du Rhône de 1800 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 570 mm) et celui de la Seine de 450 m<sup>3</sup>/s (lame d'eau de 180 mm).

Le fleuve Waikato dans l'île du Nord est la plus longue rivière du Nouvelle Zélande ( 14 250 km<sup>2</sup>) et a un débit annuel moyen de 311 m<sup>3</sup>/s.

On distingue trois grandes zones hydrographiques :

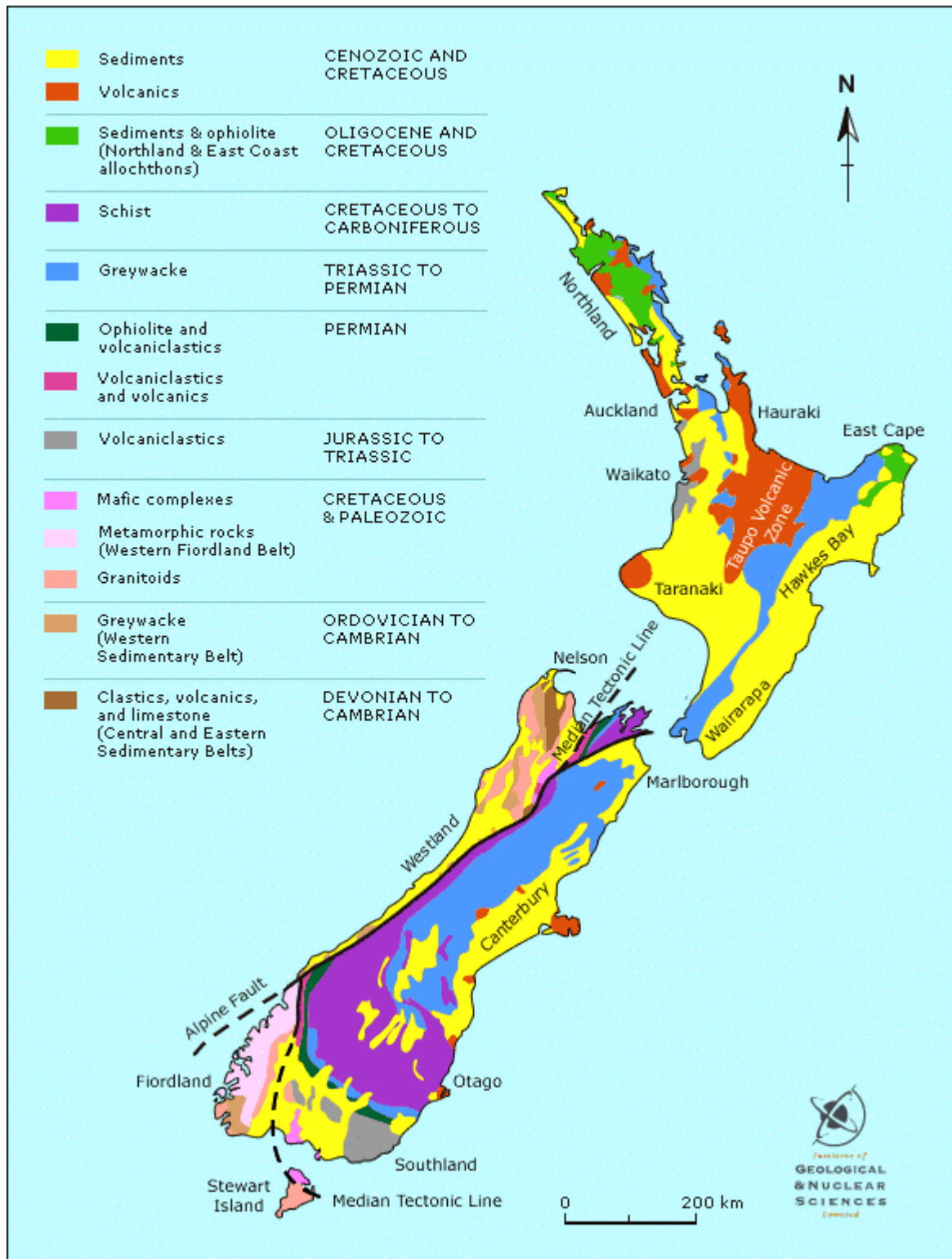
- la zone de l'île du Nord marquée par des rivières au substrat très érodable (substratum volcanique). Les taux de sédiments en suspensions sont très élevés
- la zone ouest de l'île du Sud caractérisée par des bassins versants de pente très raide et des grandes hauteurs précipitations
- la zone est de l'île du Sud avec des rivières débouchant sur des lacs d'origine glaciaire ou anthropique avant de s'écouler dans une grande plaine côtière.

---

<sup>2</sup> La lame d'eau représente la valeur du débit moyen annuel converti en mm, c'est à dire la hauteur d'eau répartie uniformément sur le bassin versant qui s'est écoulé pendant un an.

## C. Géologie

### New Zealand geology



### Figure 4 : Carte géologique

Les montagnes du Nord sont de jeunes volcans comme le Ruapehu et le Taranaki. Le sol de l'île du Nord est constitué de nombreuses roches volcaniques comme le basalte, l'andésite, la dacite ou la rhyolite résultantes de l'activité volcanique passée. Ces roches sont normalement dures mais les pentes de volcans faite de nombreuses couches de roches ont une cohésion très faible.

Dans l'île du Sud, les chaînes montagneuses sont formées de roches sédimentaires et de roches métamorphiques. Les roches bien que sédimentaires sont des « Greywacke » et des argilites faites de couches de grès et de siltstone. Ces roches sont avec le schiste de Haast parmi les plus résistantes. Cependant elles ont été largement fracturées et se trouve facilement dégradées par l'érosion. On trouve de nombreux amas de roches en bas des pentes. Les roches métamorphiques sont des schistes de Haast. Elles sont légèrement plus sensibles à l'érosion que les « Greywacke ». Le caractère schisteux de certaines régions entraîne d'importants glissements de terrain.

Dans le reste de l'île du sud on peut relever des roches calcaires (au nord) et des roches plutoniques ou métamorphiques comme du granit et du gneiss dans les Fjordland (au sud).



**Figure 5 : Mt Aspiring (3027 m) et la vallée ouest de Matukituki. D'importants taux d'érosion et le creusage par les glaciers du quaternaires ont permis l'existence de basses vallées (500m ) au cœur de la chaîne alpine.**



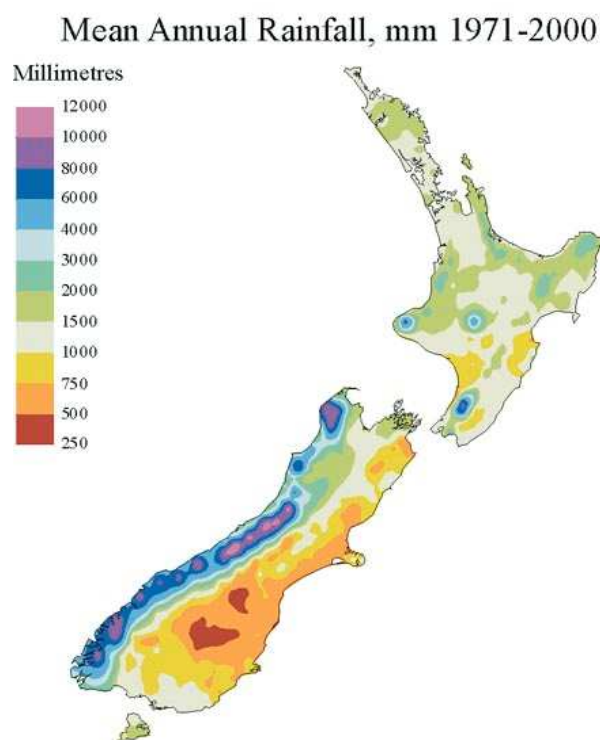
**Figure 6 : Le granit et le gneiss des fjords ont gardé les empreintes du dernier âge glaciaire avec des flancs de vallée très pentus sur plus de 1000m de haut et des vallées perchées. La photo montre ici l'Elephant au Milford Sound.**

#### **D. Climat**

Le climat de la Nouvelle-Zélande est très contrasté : il est subtropical au nord et tempéré froid au sud. Le climat est alpin sur les régions montagneuses.

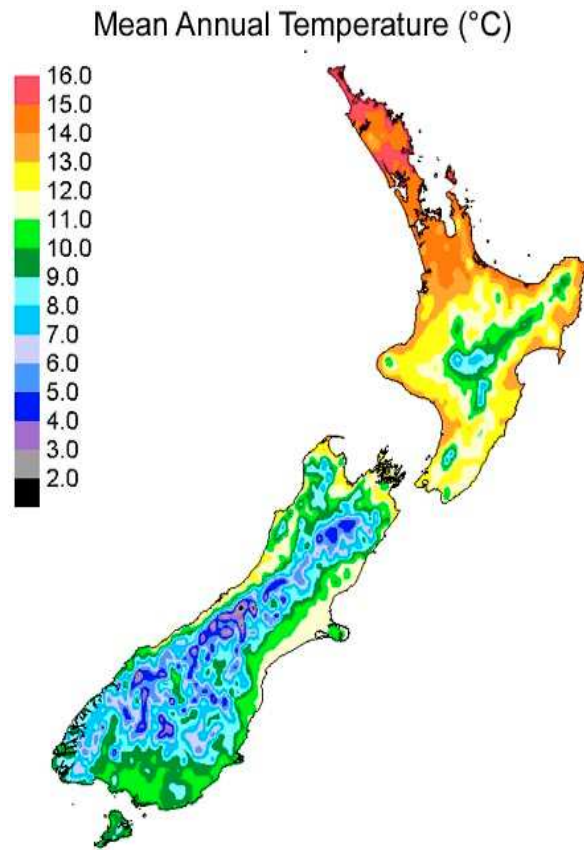
Les chaînes de montagnes font barrière aux vents dominants qui viennent de l'ouest. C'est ainsi que la partie ouest de l'île du sud est la plus pluvieuse alors que la partie est connaît des périodes de sécheresse durant l'été. Pourtant ces deux régions sont espacées d'à peine 100 km.

Les précipitations moyennes s'échelonnent entre 600 et 1600 mm par an. Dans les zones montagneuses (à l'ouest de l'île du sud) on peut observer des cumuls de précipitation supérieurs à 8000 mm. La carte suivante présente les précipitations moyennes annuelles :



**Figure 7 : Précipitations moyennes annuelles**

La température moyenne annuelle est de 10°C dans le sud du pays et de 16°C dans le nord. Le mois de juillet est le plus froid et la période janvier-février est la plus chaude. La Nouvelle Zélande se situe sous un climat océanique humide, elle ne connaît pas de grandes variations de températures entre l'hiver et l'été. Il est à noter qu'en région alpine, la température diminue de 0,7°C par tranche de 100 m d'altitude. Cette valeur est de 0,6 °C dans les Alpes européennes. Le graphique suivant présente la répartition des températures annuelles moyennes :



**Figure 8 : Température annuelle moyenne**



### **III. LE TRANSPORT DES SEDIMENTS EN NZ**

#### **A. De la source à la mer, le mécanisme général du transport solide**

Tout au long de ce document, nous nous intéressons au transport de sédiments en général mais avec une attention plus particulière sur le transport par charriage. En effet c'est ce type de transport qui structure la morphologie de la majorité des rivières et en particulier son profil en long. Le transport en suspension joue lui un rôle de colmatage des berges et d'exhaussement du lit majeur.

##### 1. Les sédiments

Les cours d'eau charrient des quantités très importantes de sédiments. Les sédiments ont des caractéristiques variables suivant le cours d'eau et le tronçon.

La granulométrie décroît d'amont en aval. Les affluents ou des singularités locales peuvent cependant apporter des matériaux plus grossiers que ceux de la rivière. Les sédiments ont des tailles très variables sur un tronçon donné et cette hétérogénéité se retrouve aussi dans les différentes couches du lit.

##### 2. Origine des matériaux

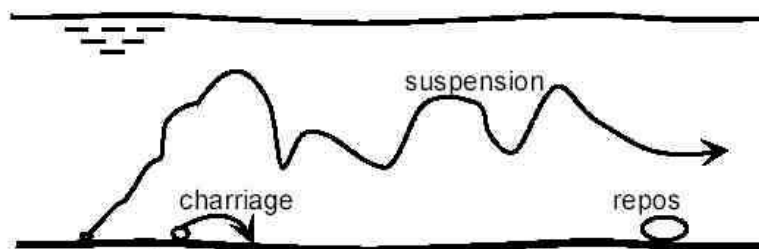
Les matériaux proviennent essentiellement de l'amont des bassins versants dans des zones que l'on nomme zones de production. Ils résultent de la désagrégation des roches par l'action du gel, du dégel, de l'érosion, des glissements de terrain et du ruissellement. Ils sont donc très liés à la géologie de la zone de production.

Les débits solides sont peu corrélés aux débits liquides. Les apports « accidentels » (cas d'une avalanche) caractérisent une grande partie des apports. Il est donc très difficile de prévoir la charge d'un cours d'eau en sédiments par une seule analyse des précipitations.

Cependant, plus en aval, les zones de dépôt et de reprise des sédiments (zones de stockage) atténuent l'irrégularité des apports.

##### 3. Le transport des matériaux

Le transport des matériaux s'effectue selon deux types de mécanismes : transport par charriage et transport en suspension. Dans le premier cas, les matériaux roulent sur le fond du lit. Dans le deuxième cas, les matériaux sont entraînés par le courant.



**Figure 9 : Transport selon différents modes (d'après Degoutte, 2004)**

Pendant la majorité de l'année, il n'y a pas transport par charriage : les vitesses sont insuffisantes pour mobiliser les matériaux. Pour des débits supérieurs à un certain seuil, le transport par charriage a lieu. Ce débit seuil dépend de chaque rivière mais intervient en général quelques jours par an (période de crue).

En outre, ce ne sont pas les crues les plus rares qui transportent le plus de sédiments car leur occurrence est faible. Les débits les plus efficaces d'un point de vue morphologique sont les crues annuelles (crues morphogènes).

Il existe de nombreuses formules empiriques pour calculer le débit solide par charriage de fond.

#### 4. Le dépôt des sédiments

Dans une rivière, l'écoulement n'est jamais uniforme soit parce que des paramètres géométriques changent (pente, largeur...), soit parce qu'il y a des singularités (méandres, seuils).

Certaines zones présentent des fortes vitesses (zones lotiques) et d'autres des faibles vitesses (zones lenticues). Dans les zones à faible vitesse, les matériaux prélevés sur les berges ou le fond en amont peuvent se déposer à nouveau : ce sont des zones de dépôt.

Le lit d'une rivière est soumis à deux types de modifications :

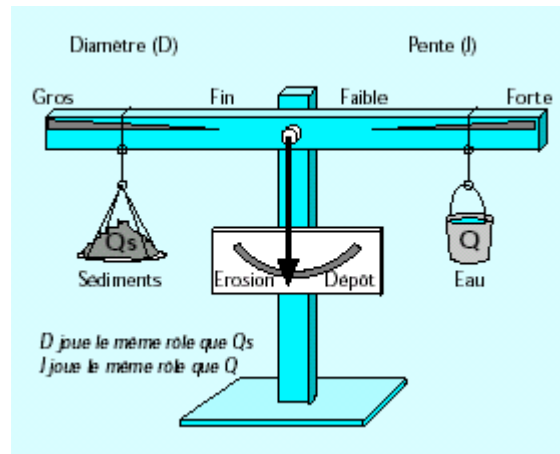
- spatiales : existence de zones privilégiées d'érosion et de zones privilégiées de dépôt ;
- temporelles : les matériaux fins déposés pour des débits courants seront repris lors d'une crue.

Sur le profil en long de la rivière, plus l'embouchure de la rivière est proche et plus les éléments sont fins.

Dans les estuaires, les particules se déposent également par le phénomène de floculation : les sédiments s'agrègent ensemble et tombent sous l'effet de leur propre poids. Les courants marins prennent le relais dans le transport des matériaux ainsi que l'action des marées.

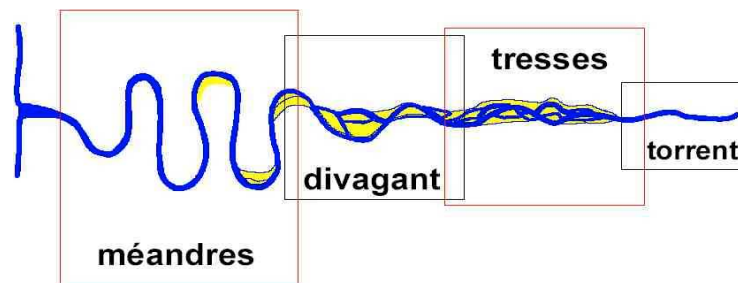
## 5. Les styles fluviaux

Un cours d'eau s'adapte en permanence aux différents apports solides et liquides. Ses variables de réponses sont la granulométrie et la pente. Le schéma suivant montre le mécanisme général d'équilibre des rivières :



**Figure 10 : Le principe d'équilibre dans les rivières (Guide Technique n°2 RMC)**

Cet équilibre dépend bien sûr de chaque tronçon de rivière. En amont, la pente est forte et les matériaux grossiers. Le style géomorphologique est celui d'un torrent. En aval, le style fluvial est celui d'une rivière en tresse (exemple : l'Eygues) puis celui d'une rivière à méandres.



**Figure 11 : Les différents styles fluviaux (d'après Degoutte, 2004)**

La rivière Shotover en amont de Queenstown présente un style en tresse :



**Figure 12 : La rivière Shotover près de Queenstown**

### **B. Données quantitatives du transport solide en Nouvelle Zélande**

Un programme de mesure des sédiments a été mis en place dès 1959 par le Gouvernement afin d'estimer le taux d'érosion sur les bassins amonts. Ce programme concerne l'ensemble du territoire du pays et principalement les sédiments en suspension.

Le transport des matériaux du lit fait l'objet d'études plus locales comme celle de Jowett et Hicks (1981) sur la Shotover. Ils ont montré que les sédiments dont la taille caractéristique est supérieure à 0,3 mm (transport par charriage) représentent 14% du transport total de sédiments.

Sur l'ensemble des deux îles le débit solide varie de 1000 à 10 000t/km<sup>2</sup>/an. Ce débit solide dépend de plusieurs facteurs comme la géologie, les précipitations, la végétation, la topographie.

Le transport solide est très différent dans son type dans les différentes régions du pays. Dans l'île du Nord, le substratum volcanique occasionne un transport très important qui concerne presque totalement les sédiments en suspension. La Waiapu située à l'est de l'île du Nord transporte plus de 35 million de tonne de sédiments par an !

Dans l'île du Sud, le transport des sédiments par charriage est plus important que pour les rivières du Nord. De plus sur la partie est, la majorité des sédiments sont capturés par les grands réservoirs naturels. Ceci n'empêche pas les affluents situés plus en aval d'apporter de grandes quantités de sédiments.

### **C. Application à quelques rivières néo-zélandaises**

En voiture, on se rend très vite compte de l'importance du réseau hydrographique en Nouvelle-Zélande. Les ponts sont en effet très nombreux et il faut faire attention en les traversant car ils sont souvent à une seule voie. Parfois les trains empruntent la même chaussée !



**Figure 13 : Voie ferrée et route empruntant le même pont**

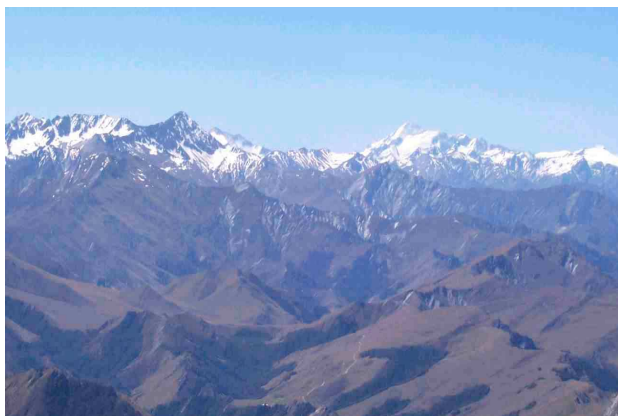
Les petits cours d'eau ont souvent une origine maori tel le Whakapapanui dans le parc national du Tongariro alors que les rivières plus importantes ont des noms d'origine anglo-saxonnes. La Grey River fût en particulier un lieu aurifère important au début du XX siècle.

Certaines des rivières traversées ont marqué ce voyage par leur géométrie, par leur débit et par leur aspect « naturel ». Elles sont regroupées d'après leur localisation géographique dans les paragraphes suivants. Le but est de présenter quelques rivières caractéristiques de leur région afin de montrer l'importance du transport sédimentaire sous différentes formes.

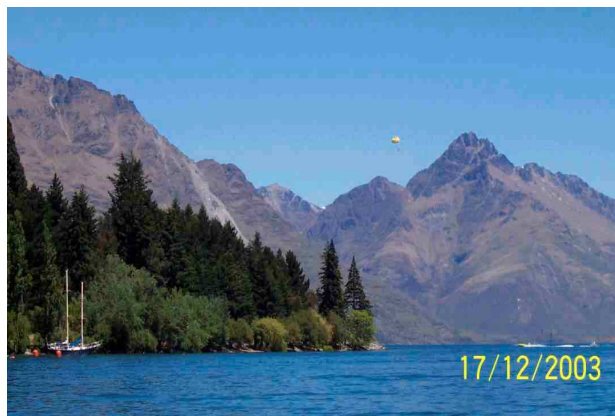
#### **1. Région est de l'île du Sud (Dart, Shotover, Kawarau)**

Dans la présentation générale des cours d'eau, il a été précisé que cette région est marquée par des cours d'eau aux pentes raides en amont qui se jettent ensuite dans des lacs naturels ou artificiels. La rivière s'engage ensuite dans une vaste plaine alluviale avant de rejoindre l'océan.

La rivière Dart ne déroge pas à cette règle. Elle prend sa source au pied du mont Aspiring (3033 m), la deuxième montagne de Nouvelle-Zélande avant de se jeter dans le lac Wakatipu (près de Queenstown).



**Figure 14 : Vue du Mt Aspiring et du bassin versant de la Dart River**



**Figure 15 : Lac Wakatipu (Queenstown)**

La production de sédiment est importante dans cette zone et on peut déplorer l'excavation de matériaux dans le lit mineur de la rivière. Les sédiments prélevés servent de granulats.



**Figure 16 : Zone d'extraction de matériaux en aval de la Shotover**

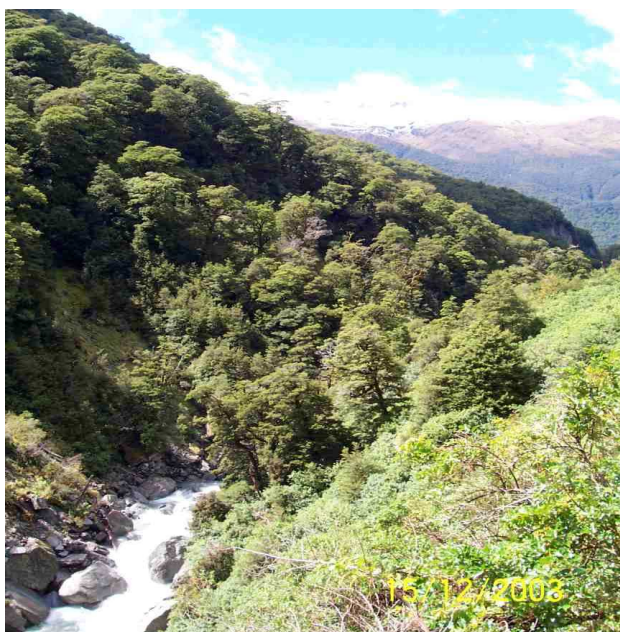
Avant de se jeter dans l'océan, la rivière est alimentée par de nombreux affluents aux pentes plus fortes qui apportent de nombreux sédiments grossiers.



**Figure 17 : Débouché d'un torrent dans une vallée (cône de déjection)**

## 2. Région ouest de l'île du Sud (Buller, Haast)

La Haast au sud et la Buller au nord prennent naissance dans les alpes néo-zélandaises mais contrairement aux rivières citées au-dessus, elles s'écoulent vers l'ouest pour rejoindre l'océan Pacifique tout proche. Les pentes en amont sont très fortes (Figure 18) et les lits sont très larges en aval (Figure 19).



**Figure 18 : La rivière Haast à l'amont**



**Figure 19 : La rivière Haast à l'aval  
(70 km plus loin)**

La rivière Buller est réputée comme étant une des dernières rivières « naturelles » c'est à dire au régime hydrologique non perturbé. Cependant, un tronçon fait exception à la règle. Il s'agit d'un tunnel percé dans une boucle de la rivière.

Sa longueur est de 160 km pour un dénivelé de 800 m depuis le lac Rotoiti. Elle est réputée pour la qualité de ses eaux et la diversité de ses espèces piscicoles. Elle prend sa source au lac Rotoiti avant de traverser des gorges et quelques zones de prairies humides. L'embouchure se situe au sud de la ville de Westport. Le bassin versant est occupé majoritairement par des forêts de hêtre. L'espèce de hêtre n'est pas la même qu'en Europe, les feuilles sont plus petites.

Le transport sédimentaire est soutenu car l'énergie du cours d'eau est élevée et les glissements de terrain sont nombreux. En période de crue annuelle, le débit atteint  $4700 \text{ m}^3/\text{s}$  c'est à dire un débit équivalent à celui du Colorado. Le débit moyen annuel est de  $425 \text{ m}^3/\text{s}$ .





**Figure 20 : La rivière Buller en amont des gorges**



**Figure 21 : Les gorges de la Buller**

### 3. Région de l'île du Nord – la Waiapu

La Waiapu se trouve dans la région de Gisborne sur la cote est de l'île du Nord. Cette partie de l'île est marquée par un transport sédimentaire très élevé notamment en suspension dû à des précipitations importantes et à des couches du sol facilement mobilisables.

La région de Gisborne a été marquée en mars 1988 par le cyclone Bola qui a profondément changé le paysage et l'état d'équilibre des rivières. Depuis les cours d'eau tendent vers un nouvel état d'équilibre avec pour conséquence des érosions régressives sur certains tronçons et au droit des confluences.

Les scientifiques ont montré que cette catastrophe naturelle a fortement perturbé les rivières. Celles-ci ont un profil en long qui tend vers un nouvel état d'équilibre. Le profil en long d'une rivière n'est donc pas fixe, il dépend des grandes perturbations externes au système fluvial.

La superficie du bassin versant de la Waiapu est de 1734 km<sup>2</sup> et la rivière a une longueur de 130 km. L'occupation des sols est divisé en 35% de pâturage, 25% de forêt exotique, 20% de forêt indigène et 20 % de buissons.

La rivière Waiapu est une rivière à tresse à graviers dans sa partie aval sur plus de 50 km. Dans cette zone les roches sont fissurées et apportent beaucoup de matériaux à la rivière. Dans les parties intermédiaires et amonts, le lit est unique et incisé dans des roches de compositions sablo-argileuses.

La Waiapu a le plus haut taux de sédiment en suspension de la Nouvelle-Zélande (source NIWA) avec 36 million de tonnes par an soit 20 500 tonnes par km<sup>2</sup> et par an. Ce taux est même un des plus élevé du monde. Ces valeurs extrêmes sont dues aux précipitations et à la lithologie.

Il pleut 2400 mm par an sur le bassin versant et celui-ci est constitué de roches fissurées qui le rend très sensible au ravinement.

Ces apports importants ont aussi une origine historique. Le besoin de pâturage a induit une déforestation importante dès 1890. Les phénomènes d'érosion et de transport s'accélérent jusque dans les années 60 où l'on a cherché à limiter ces phénomènes par la plantation d'espèces étrangères comme le Pinus de Californie.

Cependant, le lit de la rivière continue à s'élargir et le taux d'engravement engendre des menaces sur les infrastructures présentes dans le lit majeur.

La majorité des sédiments provient de ravins. Ces ravins représente une surface importante et progresse au fur et à mesure de l'érosion des couches du sol. Des études scientifiques ont montré que ces ravins au nombre de 700 contribuent jusqu'à 50 % à l'apport total en sédiments dans la rivière.

L'érosion dans les ravins pose un problème aux chercheurs pour prévoir l'état futur de la rivière (la cote moyenne du fond par exemple) car une relation entre les précipitations et le taux d'érosion est peu probable. C'est plutôt un problème lié aux glissements de terrain.



**Figure 22 : Zone ravinée sur le bassin de la Waiapu**

L'érosion peut cependant être contrôlé par les conditions d'occupation du sol : les pâturages ont pour conséquence des lits larges alors que l'on constate des lits plus étroits dans les forêts indigènes.

Depuis quelques années, les phénomènes d'incision redeviennent prépondérants. Les chercheurs se posent la question de savoir si cela est dû aux programmes de reforestation ou au cyclone Bola.

Les recherches portent actuellement sur la sensibilité du système fluvial aux perturbations extérieures et aux conditions de retour à un éventuel état d'équilibre. De plus les gestionnaires aimeraient savoir si les sédiments stockés dans les zones amont vont créer des problèmes d'engravement dans les prochaines décennies.

### **D. Evolution historique du transport solide**

Avant l'arrivée des européens au XIX<sup>ème</sup> siècle, la Nouvelle-Zélande était recouverte d'une forêt native où les phénomènes d'érosion étaient très faibles. C'est l'action de déforestation pour créer des pâturages qui a enclenché de profond changements géomorphologiques depuis les années 1880 jusqu'en 1920.



**Figure 23 : Déforestation massive encore présente en 2003 (Motueka River)**

Les phénomènes d'érosion devinrent importants surtout par le biais des ravins. L'engravement du lit à l'aval, c'est à dire l'augmentation de la cote moyenne du lit, a fait prendre conscience de l'ampleur du phénomène et a nécessité de la part des pouvoirs publics l'élaboration d'un programme de reforestation.

Ce programme a débuté dans les années 60 par la plantation d'une espèce venant de Californie, le *Pinus radiata*. Ce peuplement a eu un effet très positif sur la réduction de l'érosion étrangère au niveau des ravins. Cependant l'érosion par glissement de terrain reste importante dans les zones où le sol est à nu.

### **E. Les conséquences du transport solide sur le milieu naturel et sur les enjeux**

Le transport solide a longtemps été oublié et masqué par l'extraction de granulats. Avant les premières manifestations négatives de telles pratiques tels que l'effondrement de pont, personne n'imaginait une relation aussi étroite entre le transport solide et son milieu. Pourtant les deux sont liés et interagissent mutuellement.

Le transport solide a des conséquences sur des domaines aussi variés que :

- la stabilité des ouvrages
- les crues
- la stabilité des berges
- le niveau de la nappe phréatique
- l'hydrosystème fluvial

### 1. Transport solide et génie civil

C'est certainement les relations les plus visibles pour les riverains. Le transport solide du fait de l'incision et ou des atterrissement en lit mineur a un impact sur les ouvrages de franchissement.

Un trop grand manque en matériaux dans la rivière occasionne une incision du lit car la rivière recherche à rétablir un certain équilibre. L'abaissement du fond du lit déchausse les fondations des ouvrages et peut même entraîner parfois la rupture : ce fût le cas du pont des Roards sur l'Aygues (France).

En Nouvelle-Zélande se produit le même phénomène comme on peut le voir sur la figure suivant :



**Figure 24 : Pont sur la voie ferrée sur la Ashburton River à Ashburton**

Une partie des piles du pont de la voie ferrée sont dangereusement affouillées. En amont des piles, on remarque des pieux en béton qui servent à capturer les sédiments et retarder le phénomène d'érosion. L'incision peut se développer jusqu'à atteindre un sous-sol appelé substratum beaucoup moins cohésif. Dans ce cas la rivière ne sera plus en équilibre et l'érosion pourra y être intense.

D'un autre côté, les atterrissements peuvent boucher ou diminuer fortement la capacité d'écoulements de pont. Ce phénomène est surtout présent aux cassures de pentes à la sortie des systèmes torrentiels. C'est aussi à cet endroit que se trouve la majorité des routes de montagne.

La nécessité de réaliser des plages de dépôt en amont de l'ouvrage est donc cruciale pour éviter les phénomènes d'embâcles.

## 2. Transport solide et atterrissement

Les atterrissements dans le lit de la rivière ne sont pas très bien perçus de la part de la population riveraine. En fait il est nécessaire de distinguer les atterrissements fixes qui diminuent la section d'écoulement et qui augmentent en conséquence le niveau d'eau et les bancs mobiles qui sont un élément normal de l'activité de la rivière.

Il est inutile, voire dangereuse de vouloir extraire ces granulats mobiles. Le lit risque de s'inciser et de créer des problèmes pour le génie civil.

En Nouvelle Zélande, le problème est mieux perçu du fait d'une activité morphogène importante de la part des rivières. Les bancs y sont nombreux comme dans le cas des rivières à tresse.

Celles-ci sont beaucoup plus présentes qu'en France où l'on oublie que ce type de rivière est la traduction d'un équilibre. En conséquence, les habitations ne sont pas situées à proximité des lits des rivières. Ce sont majoritairement des prés et des prairies.

## 3. Transport solide et nappe phréatique

L'abaissement du lit de la rivière du fait d'un défaut en sédiments transportés, s'accompagne d'un abaissement similaire du toit de la nappe phréatique. Les ressources en eau souterraine sont donc moindres et il faut pomper à des profondeurs plus importantes.

## 4. Transport solide et milieu naturel

Une activité en équilibre du transport solide est synonyme de diversité des habitats et des peuplements. Un transport solide diminué conduit à une chenalisation et une homogénéité plus

importante. Les connexions hydrauliques entre les zones basses du lit majeur et la rivière sont moins souvent sollicitées.

Il faut rappeler que ce sont les crues annuelles les plus morphogènes mais que ces crues ont été souvent combattues. Les conséquences d'une telle politique sont une banalisation de la rivière avec des crues moins fréquentes mais qui n'éliminent pas les risques pour des crues rares à exceptionnelles.

En Nouvelle Zélande, sur la partie ouest de l'île du sud, les aménagements sont peu nombreux. La rivière possède un lit très large peuplé sur les bancs et dans les zones de mouilles de nombreux végétaux. Cette richesse est moins fréquente sur les rivières drainés à l'est car une grande partie des sédiments est capturée par les zones de stockages naturelles (lacs) et artificiels (barrages).

## **IV. LA GESTION DES SEDIMENTS**

La gestion des sédiments en Nouvelle-Zélande est surtout mise en œuvre à l'amont des bassins versants c'est à dire en contrôlant ce qui rentre dans le système fluvial.

Les travaux d'aménagement ont surtout consisté en des travaux de reboisement comme l'a fait la RTM (Restauration des Terrains de Montagne) en France.

Les outils réglementaires concernent plutôt des actions de lutte contre les crues et des schémas d'aménagement. Il n'y a pas encore de plan spécial pour les sédiments. En France cette gestion est émergente comme nous le verrons dans le cas de la Drôme.

### **A. Une gestion à l'amont du bassin versant**

Le contexte historique de l'occupation du sol a montré l'importance de la déforestation sur l'érosion des zones amont, sources des sédiments. Cette érosion a déstabilisé l'équilibre des couches superficielles du sol ce qui a entraîné un apport de matériaux dans les rivières. A l'aval, la rivière s'est engravée en réponse à cet apport.

L'apport des sédiments en amont peut être séparé en plusieurs mécanismes :

- l'érosion des pentes ;
- l'érosion de ravin ;
- les glissements de terrain.

Les glissements de terrain sont les éléments les plus visibles des apports dans la rivière. Mais ils font suite à des pluies exceptionnelles et sont donc des événements très rares (cas des glissements de terrains suite au cyclone Bola qui toucha une majeure partie de l'est de l'île du Nord en mars 1988).

Dans certaines régions de la Nouvelle Zélande comme l'Est de l'île du Nord, le principal fournisseur de sédiments à la rivière est constitué par les érosions de ravin. Dans le bassin versant de la Waiapoa, plus de 50 % des sédiments proviennent de ce mécanisme avec 6 800 t/km<sup>2</sup>/an. Ce chiffre atteint même 20 500 t/km<sup>2</sup>/an pour la Waiapu, bassin voisin de la Waiapoa. Les glissements de terrain ne représentent eux que 15%.

Les premiers essais de réhabilitation ont consisté en la plantation de buissons pour retarder l'érosion (« brushwood retards ») mais cela s'est avéré inefficace. Depuis 1960, c'est donc des arbres plus résistants (*Pinus radiata*) qui ont été introduites avec succès afin de diminuer l'érosion.



**Figure 25 : Zone ravinée sur le bassin versant de la Waiapu**

La reforestation est donc un moyen efficace de lutte contre l'érosion. Mais les conséquences de 100 ans de pratiques pastorales seront visibles encore longtemps car les sédiments stockés dans les différents biefs seront redistribués progressivement. Le délai de retour à un équilibre est donc difficile à estimer mais il sera long (plusieurs décennies). La gestion des sédiments doit donc concerner le long terme.

Les questions relatives à la gestion des sédiments en Nouvelle Zélande sont alors :

- A quel rythme le paysage retrouvera son aspect d'avant la phase d'érosion induit par la phase de déforestation ?
- Comment ce retour à la normale va-t-il interférer avec les pratiques agricoles et les zones urbaines ?

### **B. Les outils réglementaires**

A travers les différentes rencontres avec des spécialistes des rivières en Nouvelle Zélande, il est apparu qu'il n'existe pas de schéma directeur concernant le transport par charriage des rivières.

Une grande partie des études sur le transport sédimentaire concerne le transport des sédiments en suspension. Et même dans ce cas, il n'y a pas de schéma d'aménagement. Ce constat provient de la complexité du transport sédimentaire.

Pourtant la Nouvelle Zélande est équipée de nombreuses stations de mesure et d'une carte détaillée du transport solide en suspension par région (NIWA). Les problèmes de réglementation et de d'aménagement ne sont pas aussi aiguës qu'en France du fait du peu d'infrastructures et d'enjeux dans les zones à risque.



Dans l'île du Sud, une des questions qui est posée aux scientifiques est de savoir quelle partie du transport sédimentaire doit être allouée aux impacts humains et quelle partie est « naturelle ».

L'équivalent des SAGE s'appelle les « Catchment Board » mais ils ne sont pas aussi fournis. Ces plans essaient d'intégrer les différentes communautés ainsi que les pratiques sur le bassin versant.

Au niveau régional, il existe également des « Water Management Plan » mais ils n'intègrent pas une approche à partir du bassin versant. Et ils sont focalisés sur le débit liquide. En ce qui concerne le transport sédimentaire, l'approche choisie est de garantir une certaine charge de fond. Encore faudrait-il avoir des éléments de comparaison.

Pour un nouvel aménagement (barrage, pont...), il est nécessaire de se conformer à la loi intitulée « Resource Management Act » et de réaliser des études d'impacts (« Environmental Impact Assessment » et « Environmental Impact Statement »).

### **C. Comparaison avec la France et la Drôme**

La gestion des sédiments est une composante nouvelle de la gestion plus globale des cours d'eau.

En France, c'est la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 qui a initié la prise de conscience sur l'importance du transit sédimentaire dans l'équilibre des écosystèmes fluviaux. Elle interdit en particulier l'extraction de granulats dans le lit mineur. Mais c'est surtout la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement et l'approbation des SDAGE (Schémas Directeurs d'Aménagement des Eaux) en 1996 qui ont permis la reconnaissance de la dynamique fluviale comme un élément essentiel de l'équilibre des cours d'eau. Par exemple le SDAGE du bassin Rhône Méditerranée Corse préconise des études d'impact sur la dynamique fluviale pour tout projet d'aménagement et insiste sur la lutte des déficits sédimentaires.

Le fait que cette gestion des sédiments soit assez nouvelle est assez compréhensible : les phénomènes sont encore mal connus et les apports liquides ont concentré l'essentiel des efforts.

Contrôler les débits est devenu possible par de nombreux aménagements mais ce contrôle ne s'exerce que sur des débits courants ou des petites crues. Lors de ces événements de période de retour inférieure à un an, une bonne partie des sédiments est piégée. Mais en période de crue exceptionnelle ( $T > 10$  ans), les aménagements deviennent transparents et le transport solide devient peu influencé. Il apparaît alors des atterrissements solides très visibles par les riverains. On comprend maintenant pourquoi la gestion des sédiments est difficile. C'est donc principalement à la source que les autorités vont intervenir.

Nous avons vu qu'en Nouvelle-Zélande, cette approche est largement privilégiée. En effet, le problème de la gestion des sédiments est opposé à celui de la France. Les rivières néo-zélandaises connaissent des apports sédimentaires très importants (ravins, glissements de terrain...) dû à la déforestation et aux pratiques pastorales exercées à l'amont des bassins

versants. L'objectif des autorités néo-zélandaises est alors de diminuer cet apport par fixation du sol à l'aide de la végétation.

La France a connu le même problème d'érosion en amont des bassins versants au XIX<sup>e</sup> siècle. La RTM (Restauration des Terrains de Montagnes) a alors engagé un vaste programme de reforestation avec l'aide de l'Etat. Maintenant, les bassins amont sont boisés et le cours d'eau connaît de nombreuses singularités du point de vue sédimentaire (barrage, seuil) qui limite l'apport et le transport en matériaux. En conséquence, le lit de la rivière s'incise pour retrouver un état d'équilibre (cf. )

Le cas de la Drôme est un cas intéressant pour la gestion des sédiments. En effet, cette rivière a fait l'objet de nombreux programmes pilotes et elle fût l'objet du premier SAGE en 1992 (approuvé en 1997).

### 1. Cas de la Drôme (d'après le SAGE)

La rivière Drôme est un affluent en rive gauche du Rhône dont le bassin versant de 1700 km<sup>2</sup> est situé en grande partie dans le département de la Drôme. Le style fluvial de la Drôme est une rivière en tresse d'une longueur original en France du fait de l'absence de grands aménagements. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 900 mm avec des valeurs plus élevées sur les haut versants (1050 mm). La crue décennale est de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/s à Luc-en-Diois. Le sol du bassin versant est constitué de roches jurassiques calcaires.

L'occupation du sol a beaucoup évolué depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Dès 1860, de nombreux seuils ont été construits afin de stabiliser le lit de la rivière. Parallèlement, la RTM a planté de nombreuses forêts jusque dans les années 1920 ce qui a permis de diminuer significativement l'apport en sédiments.

Les conséquences aujourd'hui de ces travaux est une incision généralisée du lit qui est de 3 m en moyenne. Le déficit en sédiments est estimé à 9 200 000 m<sup>3</sup>, c'est à dire qu'il faudrait plus de 500 ans pour retrouver un état d'avant reforestation dans l'état des apports sédimentaires.

## V. CONCLUSION

Le transport sédimentaire conduit à de nouveaux problèmes pour les gestionnaires et pour les scientifiques. Ces problèmes ont un temps de résilience beaucoup plus importants que ceux liés au seul débit liquide. Nous avons pu voir les effets du transport sédimentaire sur son milieu et sur les activités humaines à travers ce voyage. Il est donc nécessaire de poursuivre les études pour mieux connaître son fonctionnement.

Les rivières de Nouvelle-Zélande permettent de bien comprendre les grands mécanismes de production et de transport et à montré la complexité des phénomènes. Les zones de production peuvent provenir de l'érosion de surface (liée au ruissellement), du ravinement et de glissements de terrain. Chaque forme d'érosion dépend des caractéristiques lithologiques et pluviométriques du bassin versant.

Le transport des sédiments est lié à la capacité du lit à transporter les matériaux qui dépend elle-même de la pente, de la taille des sédiments, du débit liquide et donc des précipitations. Finalement la connaissance hydrologique d'un bassin versant est nécessaire mais non suffisante. Il faut y associer les données lithologiques.

En outre les échelles de temps (dû au stockage, transport et reprise des matériaux) sont d'un ordre de grandeur plus longues que les désordres à l'origine des perturbations. Il devient alors difficile de déterminer quel a été l'état avant et après cette perturbation.

Les rivières néo-zélandaises sont intéressantes de ce point de vue car les européens sont arrivés tardivement à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Les désordres liés aux activités humaines sont arrivés dans une période assez récente.

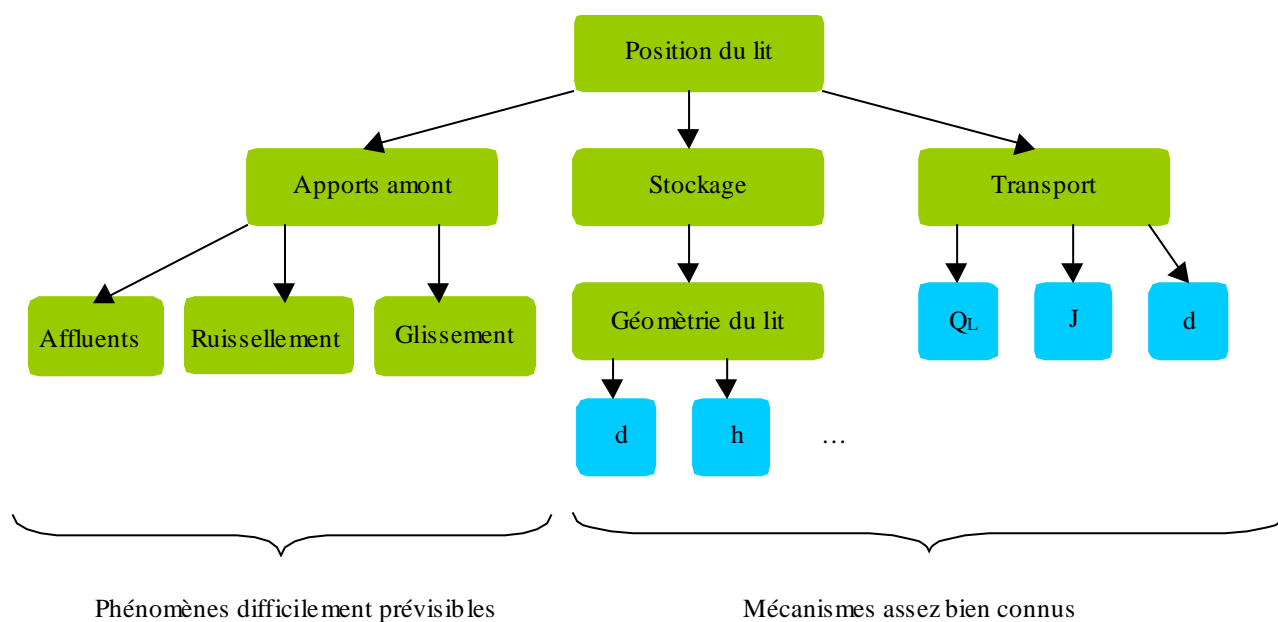
### **A. La question de la prévision du niveau moyen de la cote de fond du lit d'une rivière**

Un des paramètres auquel s'intéresse les gestionnaires de rivière, est le niveau moyen du lit. En effet, les aménagements mis en œuvre ne seront pas les mêmes si le niveau de la rivière augmente (engravement du lit) ou bien s'il diminue (incision). Dans le premier cas, le risque inondation est accru. Dans le deuxième cas, la stabilité des ouvrages et des berges est mis en cause.

---

Un objectif annoncé pour des tronçons en équilibre peut-être de garantir une cote fixée. Afin de remplir cette condition, il est possible de jouer sur plusieurs variables du système fluvial.

Cependant, l'évolution du niveau est très difficile à prédire car les variables sont très nombreuses et les mécanismes ne peuvent pas toujours être contrôlés.



Autant les capacités de stockage et de transport sont assez bien connus au niveau d'un bief, autant les apports amont sont tributaires de mécanismes difficilement prévisibles (éboulements, apport des affluents...). On ne peut pas prédire avec précision les apports mais on peut tout de même y exercer un contrôle grâce à l'occupation du sol. Cette voie est privilégiée en Nouvelle-Zélande.

Il est étonnant de voir en Nouvelle-Zélande tant de montagnes sans arbres ni arbustes au profit des zones de pâtures. La production de laine a été pendant longtemps un moteur de l'économie néo-zélandaise. Le déboisement fût souvent brutal et le ravinement important.

De telles pratiques en Europe aurait certainement des conséquences très dommageables ce qui n'est pas trop le cas en Nouvelle Zélande car la population est peu dense et essentiellement regroupée dans les centres urbains. Sur la cote ouest de l'île du Sud (Westland, zone la plus pluvieuse), le nombre d'habitant est de 30 000 pour un territoire de 23 000 km<sup>2</sup>.

Après le grand bouleversement initial dû à la déforestation massive, les rivières ont augmenté leur transport solide et ont retrouvé un certain état d'équilibre. Depuis, l'occupation du sol dominé par les zones de pâtures n'a plus trop évolué pendant plusieurs décennies mais le transport solide a continué à augmenter ce qui permet aujourd'hui d'observer des débits solides très importants.

On ne peut rester qu'ébahi par tant de rivières au débit soutenu, à la qualité irréprochable de l'eau et à des volumes de sédiments transportés inconnu en France.

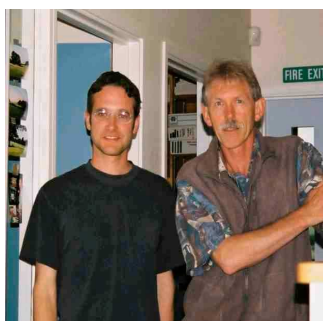
Pour terminer, une image d'une région de Nouvelle Zélande beaucoup plus aride :



**Figure 26 : Collines de l'Otago à l'est de l'île du Sud**

## Personnes Rencontrées

- M. Gerald Nanson, professeur de géomorphologie fluviale à l'université de Wollongong (Australie)
- Mike Page, Landcare Research à Palmerston North. M. Page est spécialisé dans l'étude des phénomènes d'érosion, de glissements de terrain et d'apport de sédiments dans les rivières par le ruissellement pluvial.
- Dave Peacock, Landcare Research, Gisborne. Il a travaillé notamment sur la gestion de la rivière Waiapoa près de Gisborne.
- Murray Hicks, chercheur au NIWA, Christchurch. Son domaine d'étude touche le transport sédimentaire fluvial et côtier.
- Jochen Schmidt, NIWA, Christchurch. M. Schmidt réalise son PhD au NIWA sur la modélisation de l'érosion de bassin versant à l'aide de Topmodel.



Mike Page



Dave Peacock



Murray Hicks