



Projet de recherche franco-marocain :
**Fonctionnement et ressources hydro-écologiques en région
semi-aride (Tensift, Maroc) :**
Caractérisation, modélisation et prévision



Application de la télédétection à la cartographie de l'enneigement du Haut Atlas de Marrakech à partir d'images SPOT VEGETATION et LANDSAT TM.

L. Hanich¹, B. Duchemin², P. Maisongrande², A. Chaponnière², G. Boulet² et G. Chehbouni²

- (1) Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, BP 549 Marrakech, Maroc.
(2) CESBIO - 18, Av. Edouard Belin BPI 280, 31401 Toulouse Cedex 4, France.

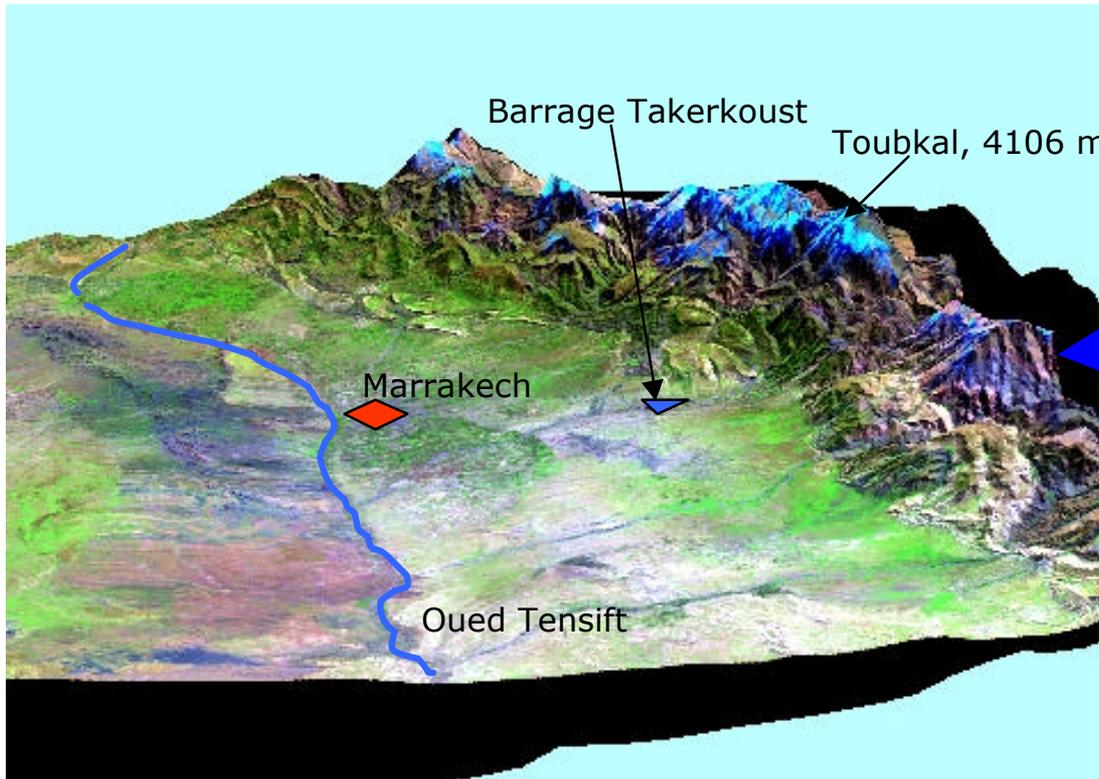


**Faculté des Sciences et Techniques
de Marrakech, Maroc**



**Centre d'Etudes Spatiales de la
Biosphère, Toulouse, France**

Localisation de la zone d'étude : le Haut Atlas marocain

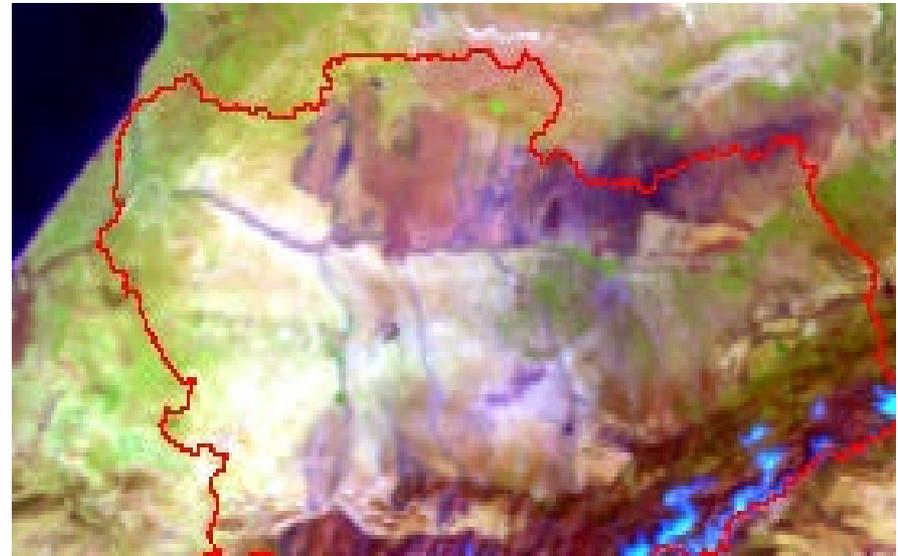
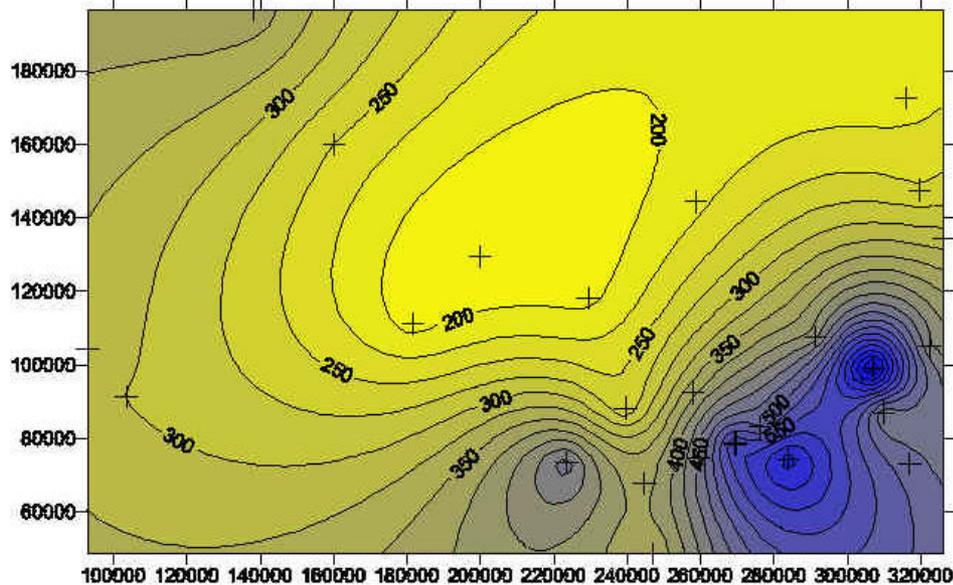


- Le Haut-Atlas est un massif montagneux de 200 km de long pour 70 à 80 km de large
Il limite au sud la plaine du Haouz de Marrakech.

- La plaine du Haouz est une zone agricole importante pour la production céréalière, de fruits et de maraîchage.

- Les besoins en eau sont en augmentation du fait du développement de la population de l'agriculture et du tourisme.

Problématiques



- large variabilité spatio-temporelle des précipitations

➔ Le haut atlas constitue un château d'eau : pluie et neige

- La **neige** est la principale source d'eau de la plaine par la recharge des nappes, le remplissage des barrages et l'alimentations des canaux traditionnels (séguias)

- Il faut un **suivi régulier au cours de la saison**, à un pas de temps suffisamment fin pour suivre l'enneigement et la fonte : 5 à 10 jours.

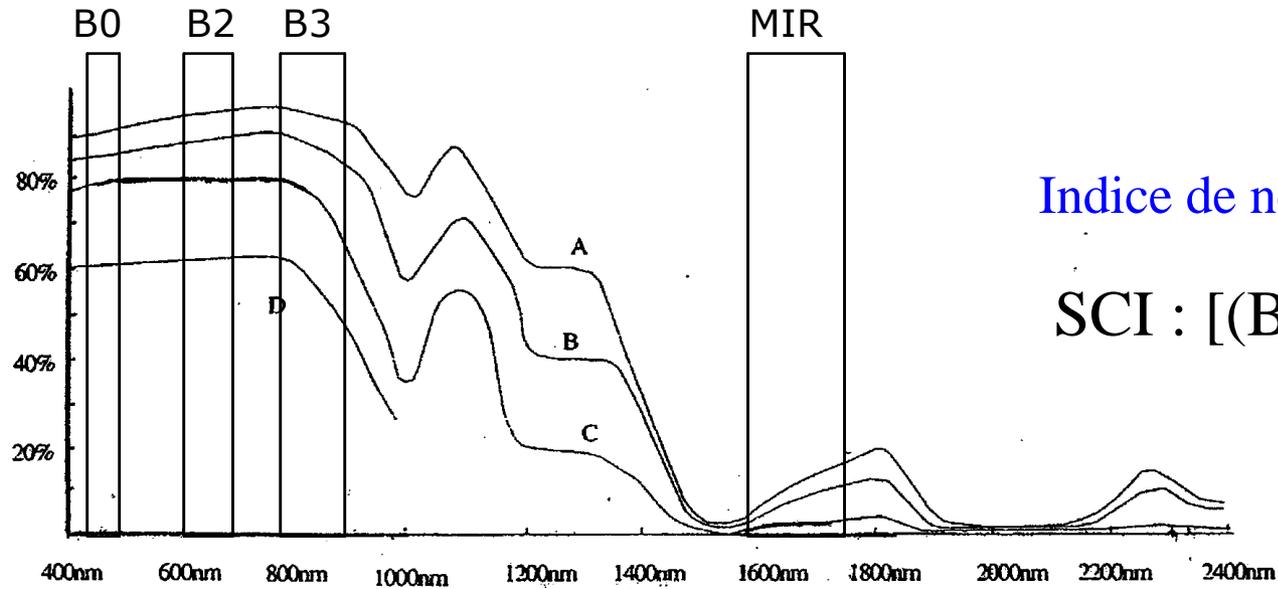
- **Seuls les satellites basse résolution spatiale offrent une répétitivité suffisante** pour disposer de données à cette fréquence.

- L'imagerie satellitale permet de détecter facilement la neige car elle a une signature spectrale très particulière

Objectifs :

- ✓ Quantifier le stock de neige du Haut Atlas et prévoir les volumes d'eau qui seront disponibles lors de la fonte.
- ✓ Développer une méthodologie pour estimer le couvert neigeux, basée sur la combinaison des données des images haute et basse résolution spatiale dans le but de déterminer une relation entre l'indice de neige et la surface de neige.
- ✓ Application de cette relation à une série d'image à haute fréquence temporelle, au niveau des bassins versants du Haut Atlas.
- ✓ Proposer au modèle de fonte de neige une information relative à la superficie enneigée et son évolution au cours du temps.

Propriétés optiques de la neige



Indice de neige : Indice de brillance

$$SCI : [(B0 + B2) / 2] - MIR$$

Albédo de la neige : neige récente sèche (A) et humide (B), neige couverte d'une pellicule de glace (C), neige mouillée (D).

Les images basses résolution utilisées sont des images SPOT VEGETATION :

- ❖ Résolution spatiale : 1 km * 1 km
- ❖ images quotidiennes
- ❖ 4 Canaux disponibles :

Méthodologie de détermination d'une relation entre l'images Landsat TM et Spot VEGETATION

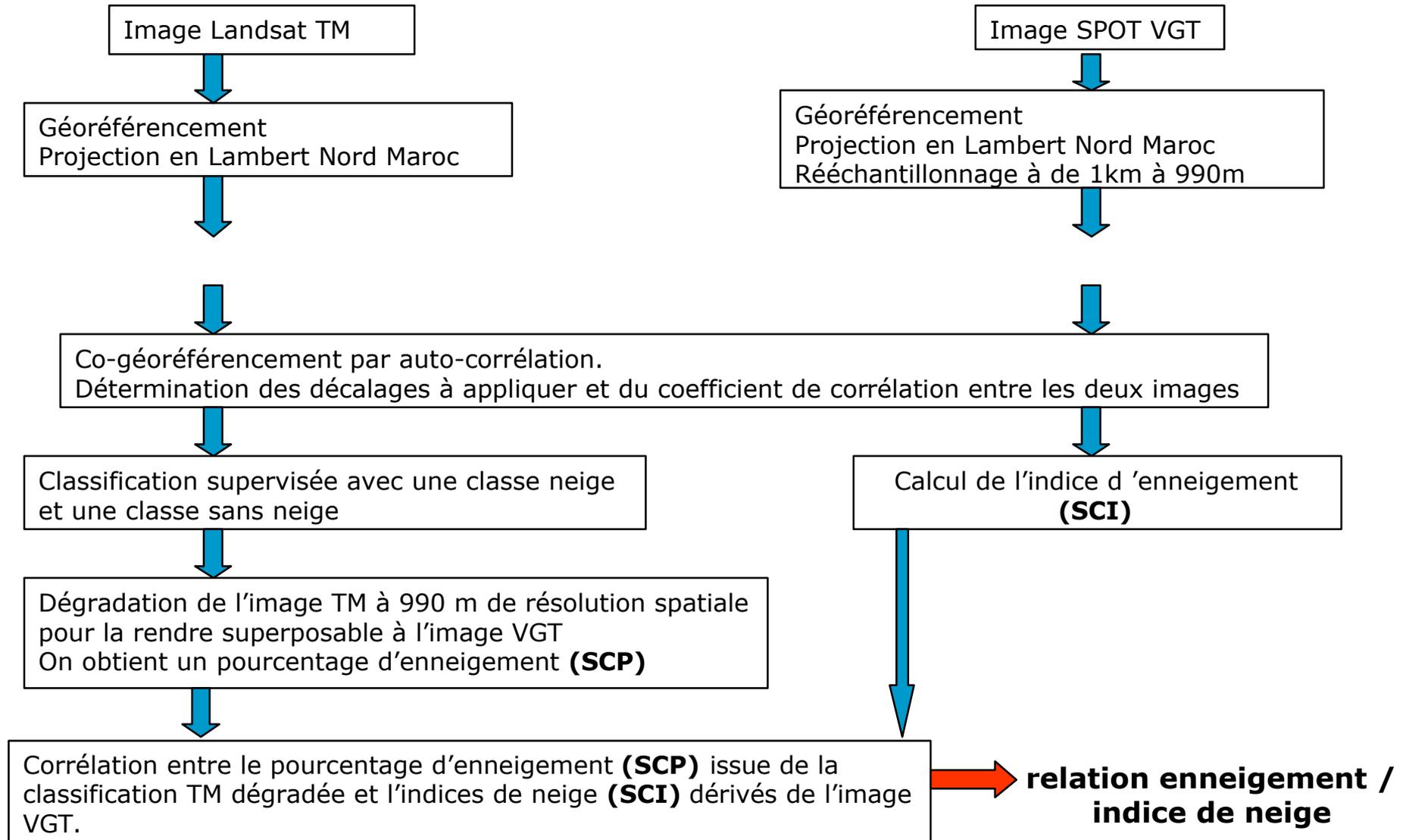




Image LANDSAT TM du 8/02/02

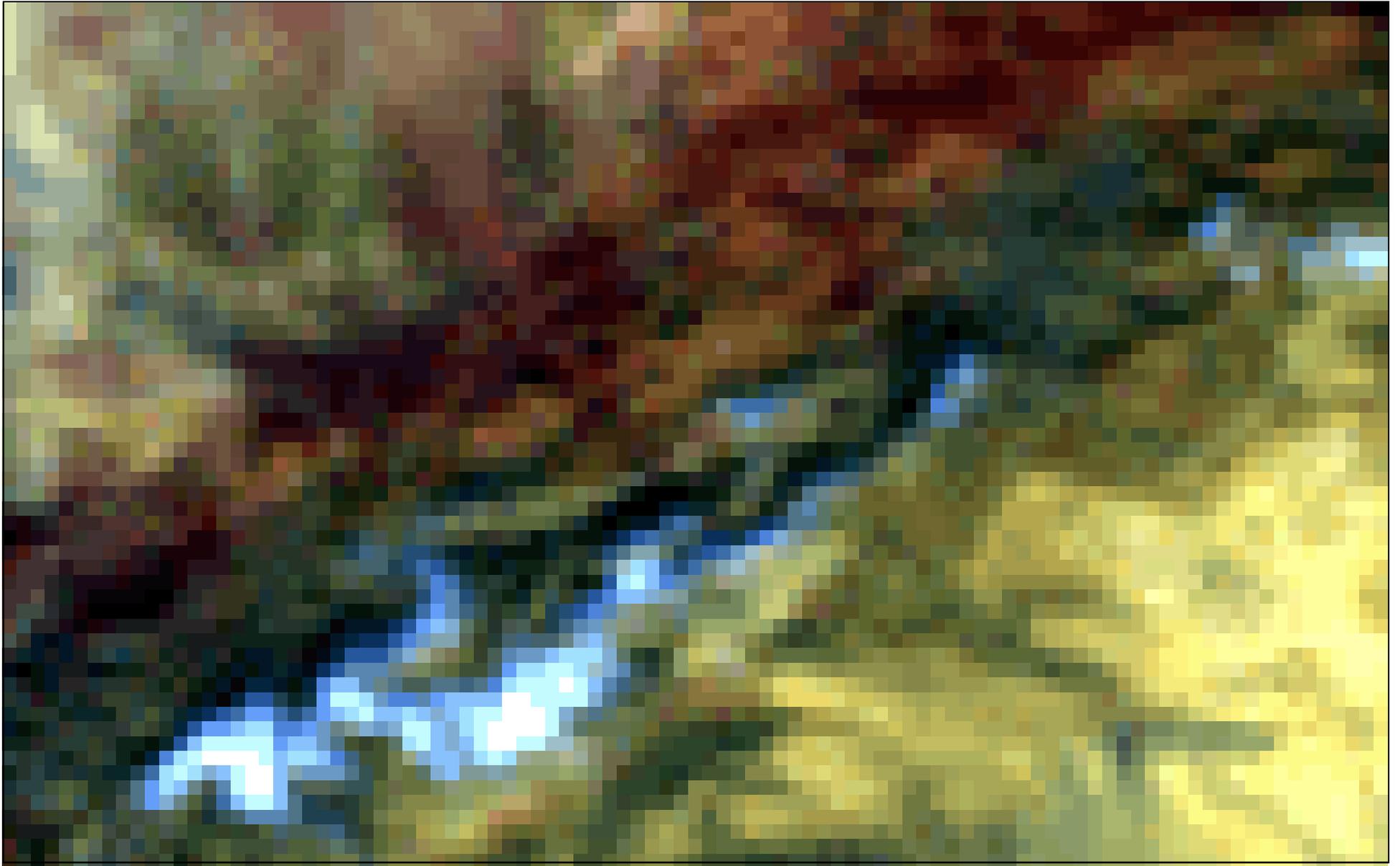


Image SPOT VEGETATION du 8/02/02

Co-géoréférencement TM / VEGETATION



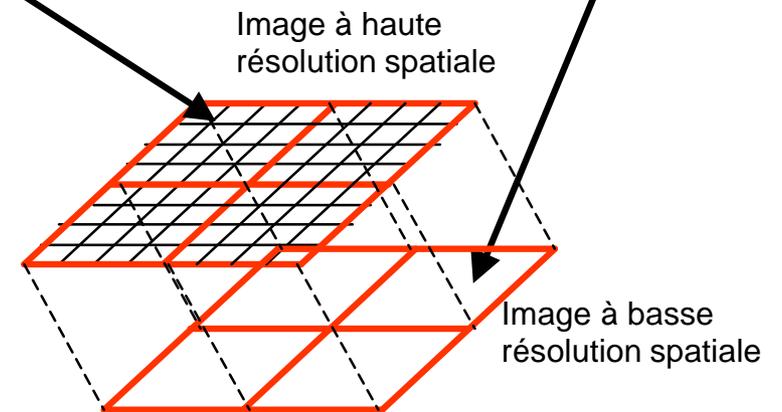
Image Landsat TM du 08/02/2002 (résolution spatiale de 30m) - Composition en vraies couleurs



Image SPOT 5 VEGETATION du 8/02/2002 (résolution spatiale de 1 km) - Composition PIR, Rouge, Bleu

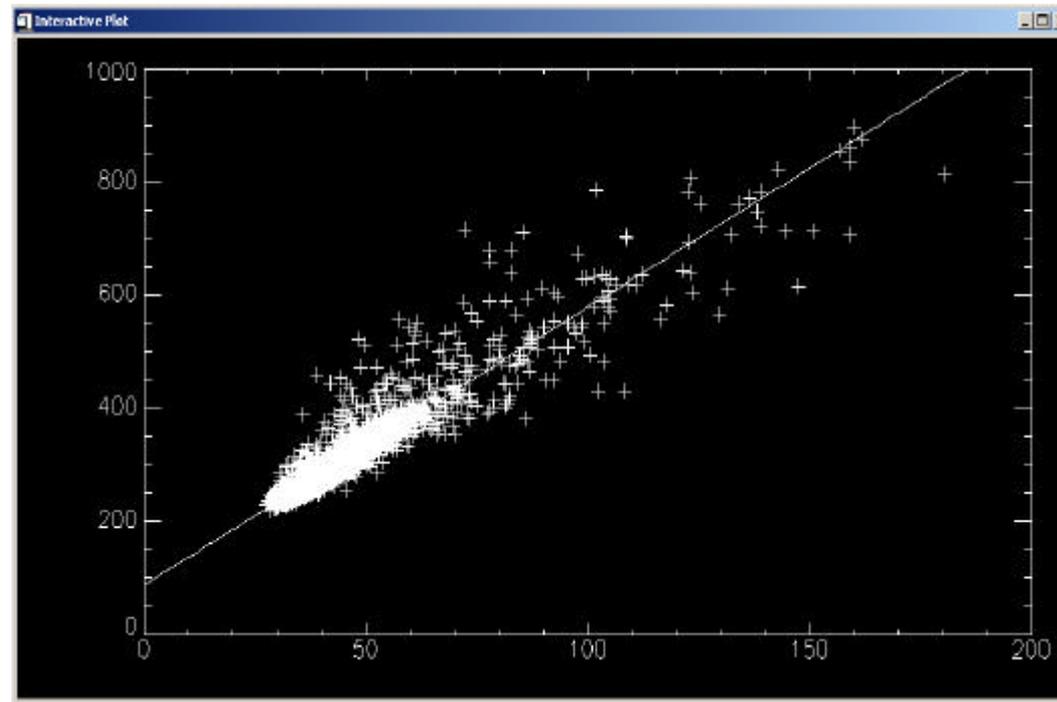
Principe du co-géoréférencement :

- Décalage pixel par pixel de deux matrices :
- l'image VEGETATION
- l'image TM dégradée à la résolution de VEGETATION
- Calcul du coefficient de corrélation entre les 2 matrices
- Sélection des paramètres de décalage lignes colonnes qui maximisent le coefficient de corrélation TM / VGT



Superposition des deux images par co-géoréférencement

Résultats du co-géoréférencement TM / VEGETATION



TM / VGT du 08/02/02 correctement calées
(canal bleu) - Coeff de corrélation $R^2 = 0,88$

L'algorithme de co-géoréférencement donne de bons résultats qui autorisent la comparaison TM dégradées / Indice de neige VEGETATION

Classification de la TM et calcul de l'indice de neige de la VGT

LANDSAT TM (Référence)

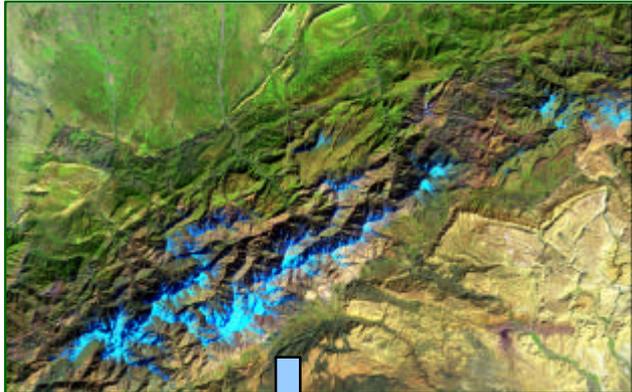
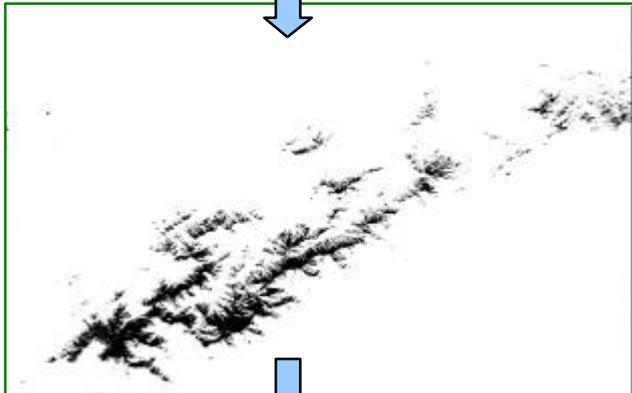
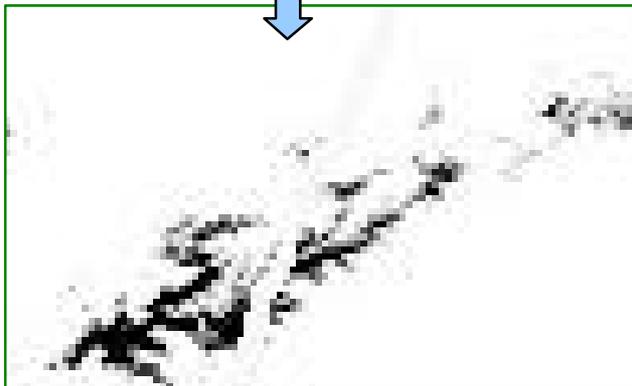


Image Landsat TM **03/02/00**
Bandes 5, 4, 1
Résolution spatiale 30m*30m



Classification supervisée
maximum de vraisemblance
neige / non neige
30m*30m



Classification dégradée à
une résolution de 1 km*1 km

SPOT VGT

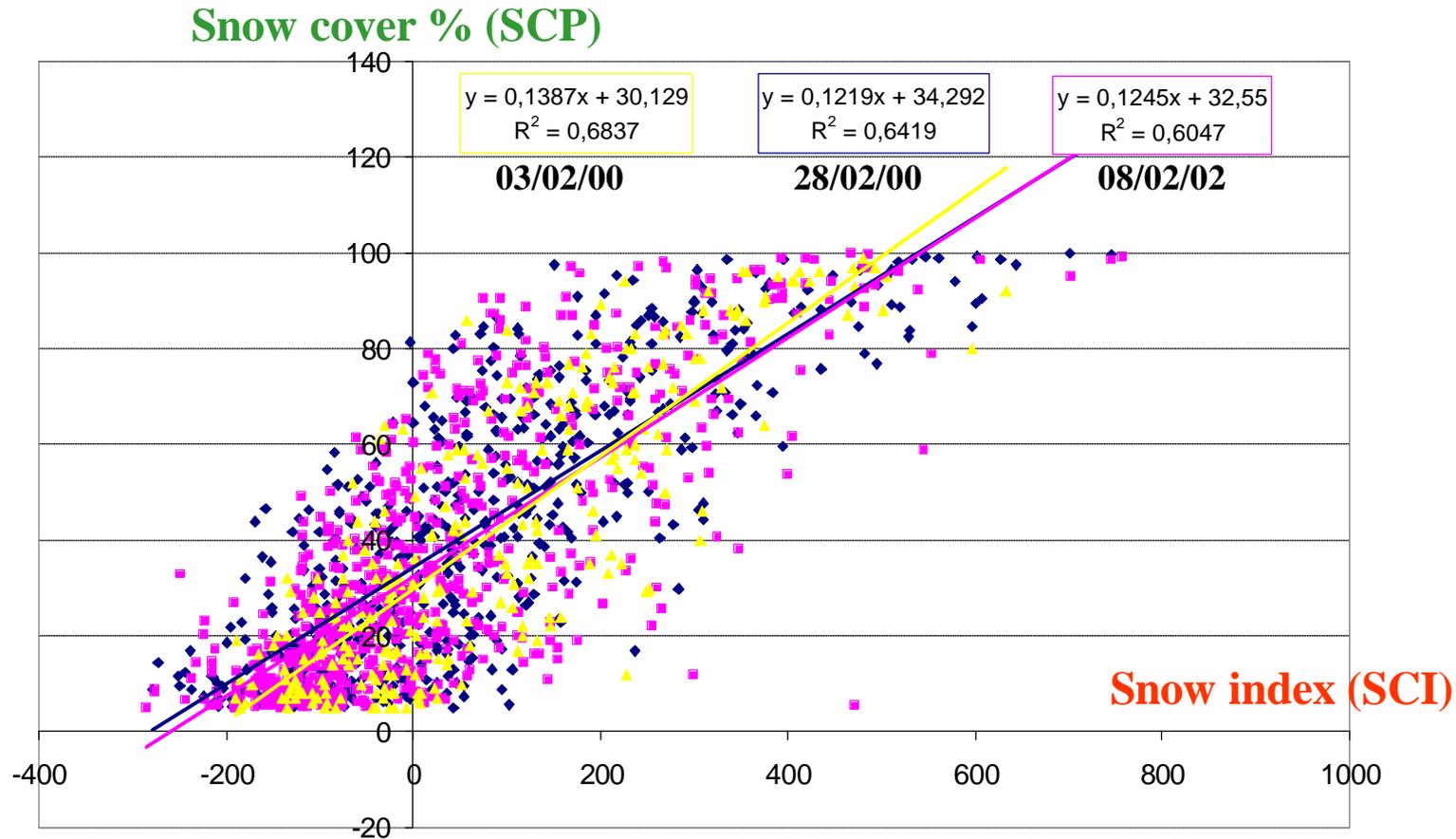


Image Spot VEGETATION
03/02/00
Bandes MIR/B3/B0
Résolution spatiale 1 km*1km

$SCI = (B0+B2)/2 - MIR$
calculé à partir de l'image VGT
1 km*1 km



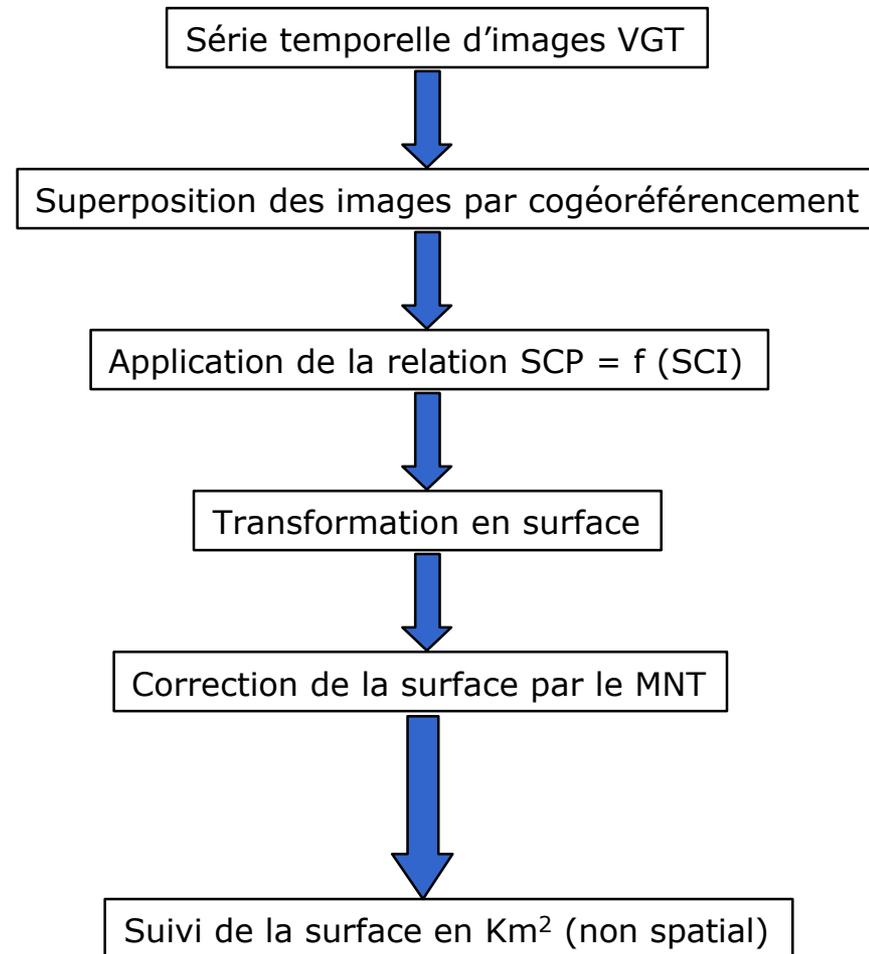
Détermination de la relation enneigement / indice de neige



Relation entre le % d'enneigement (SCP) de TM et l'indice de neige (SCI) de (VGT) :

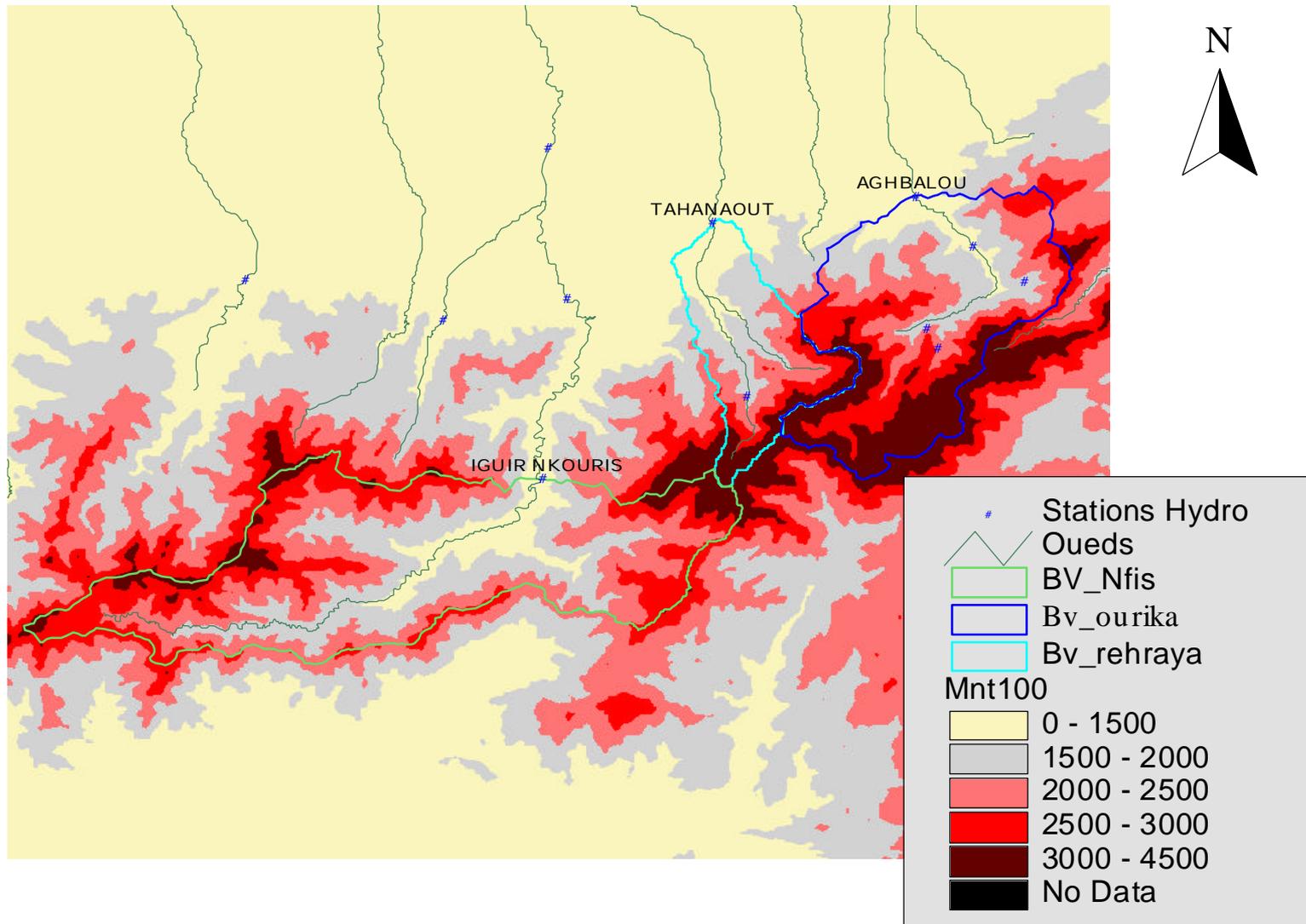
$$\text{SCP} = 0,13 * \text{SCI} + 30$$

Suivi de l'enneigement avec les images VEGETATION

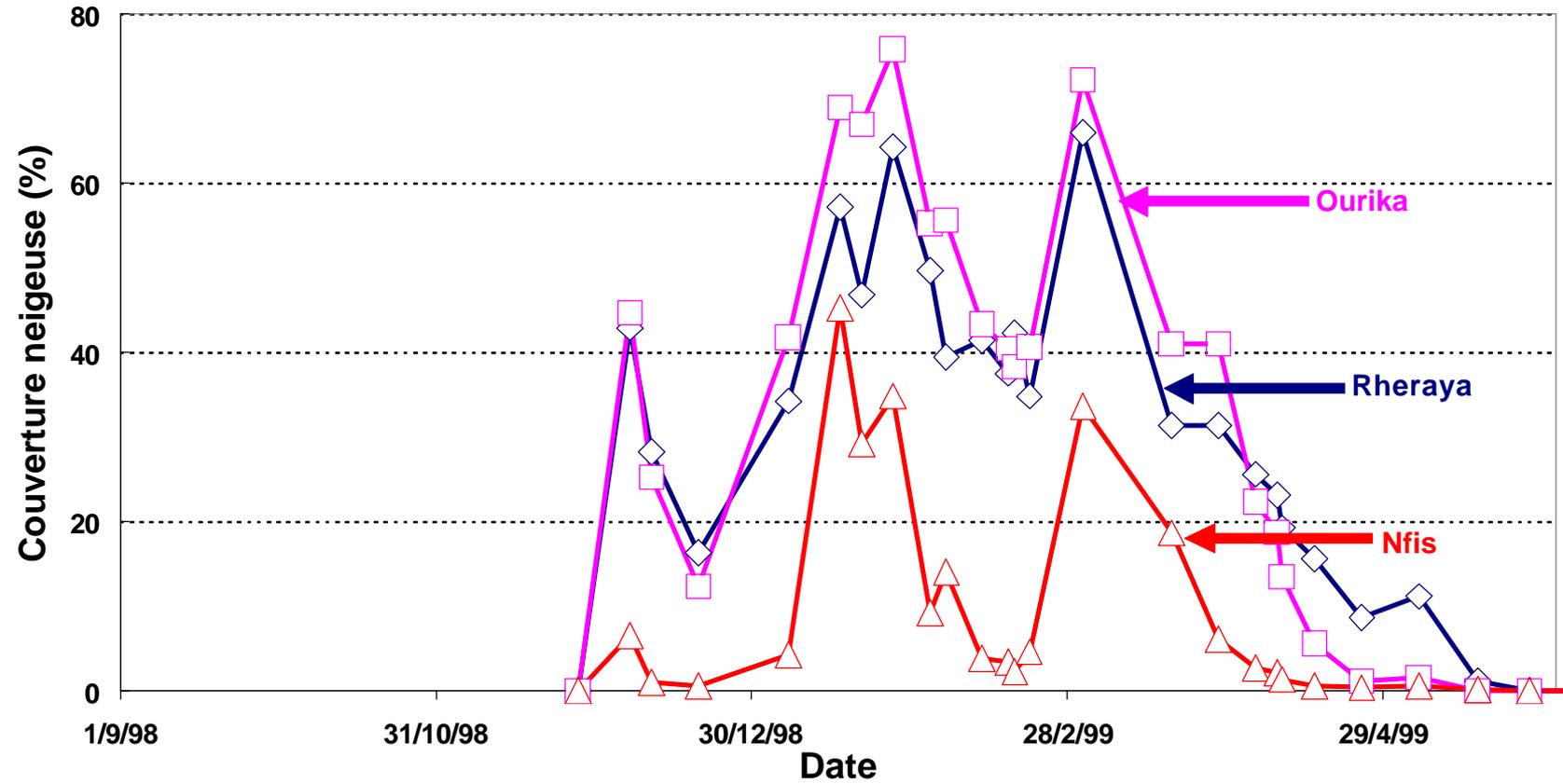


Suivi de l'enneigement sur trois bassin versant l'Atlas durant une saison (octobre 98 à juin 99)

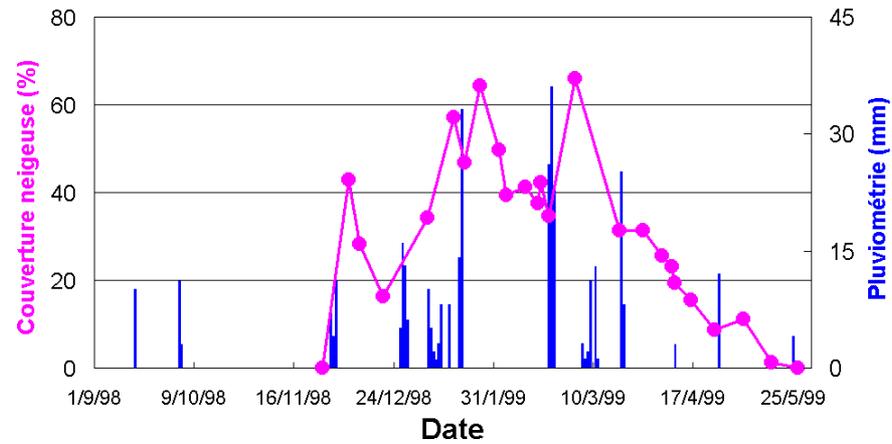
Nfis (848 km²), Rheraya (225 km²), Ourika (508 km²)



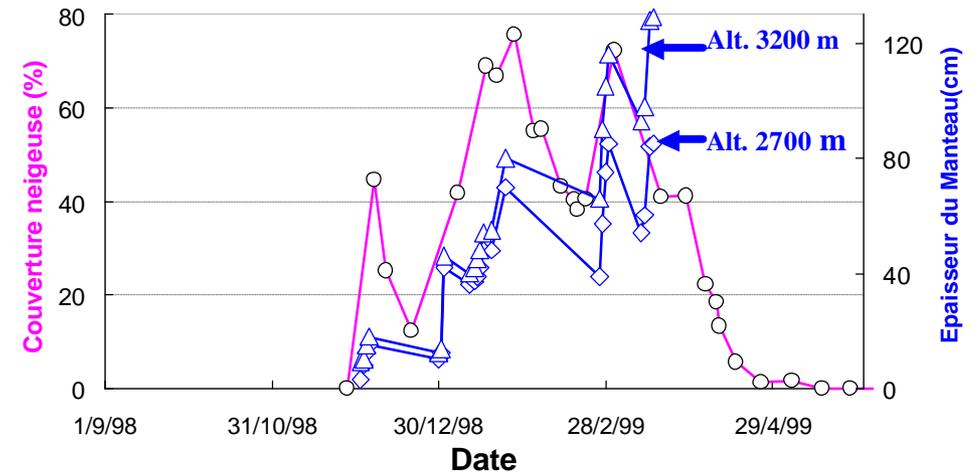
Profil temporel de la surface enneigée



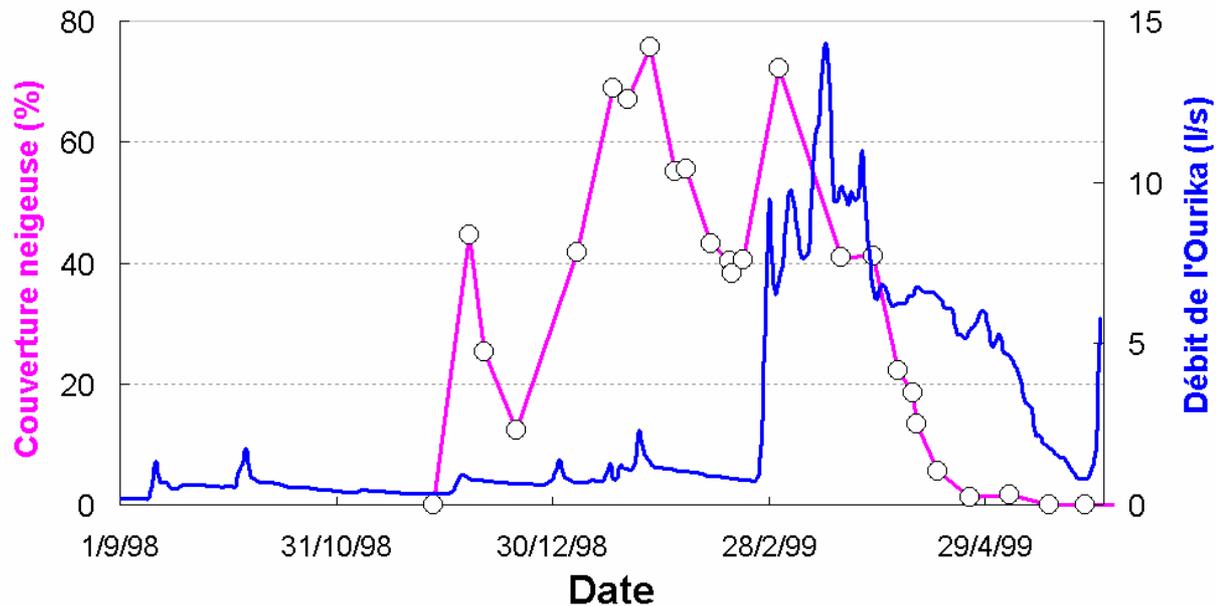
Profil temporel de la surface enneigée & précipitations à l'exutoire



Profil temporel de la surface enneigée & l'épaisseur de neige



Profil temporel de la surface enneigée & débits à l'exutoire



Conclusions

- ✓ Développement d'un algorithme pour suivre l'évolution de la couverture neigeuse du Haut Atlas, par télédétection.
- ✓ Combinaison des images haute (Landsat TM) et base (Spot VGT) résolution spatial pour déterminer une relation linéaire entre l'indice et la surface de neige.
- ✓ Utilisation de cette relation à une série d'images VGT, obtenue au cours d'une saison, pour l'estimation de la couverture neigeuse et son évolution au niveau des bassins versants du Haut Atlas.
- ✓ Validation de cette estimation de la couverture neigeuse par les mesures in situ de la hauteurs de neige et par sa corrélation avec les hauteurs de pluie et le débit mesurés à l'exutoire des bassins versants.