

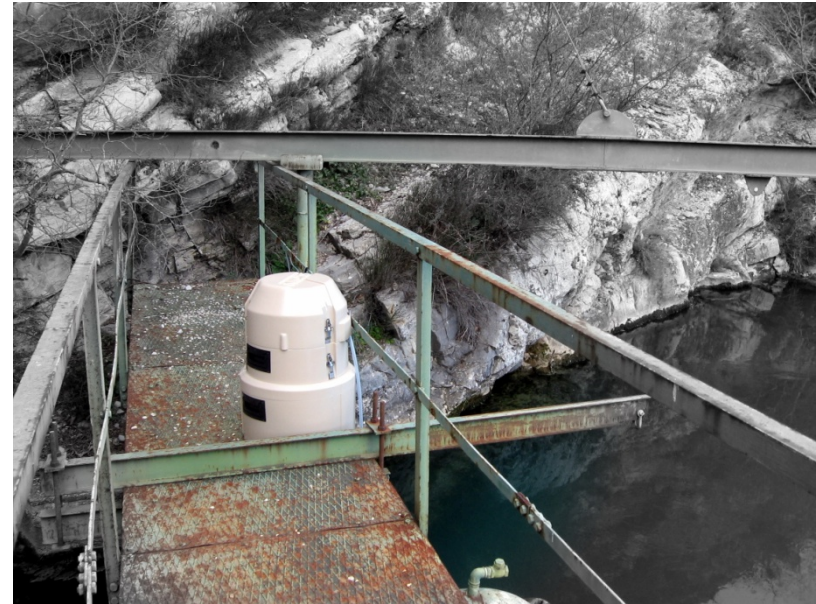
## Mudanças hidrodinâmicas e suas consequências na hidroquímica da água induzida após três décadas de exploração intensa em um aquífero cárstico Mediterrâneo.

Bicalho C.C.\*, Silva-Filho E., Batiot-Guilhe C., Seidel J.L., Van-Exter S., Jourde H.



## Objetivos

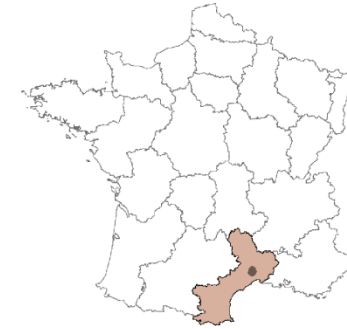
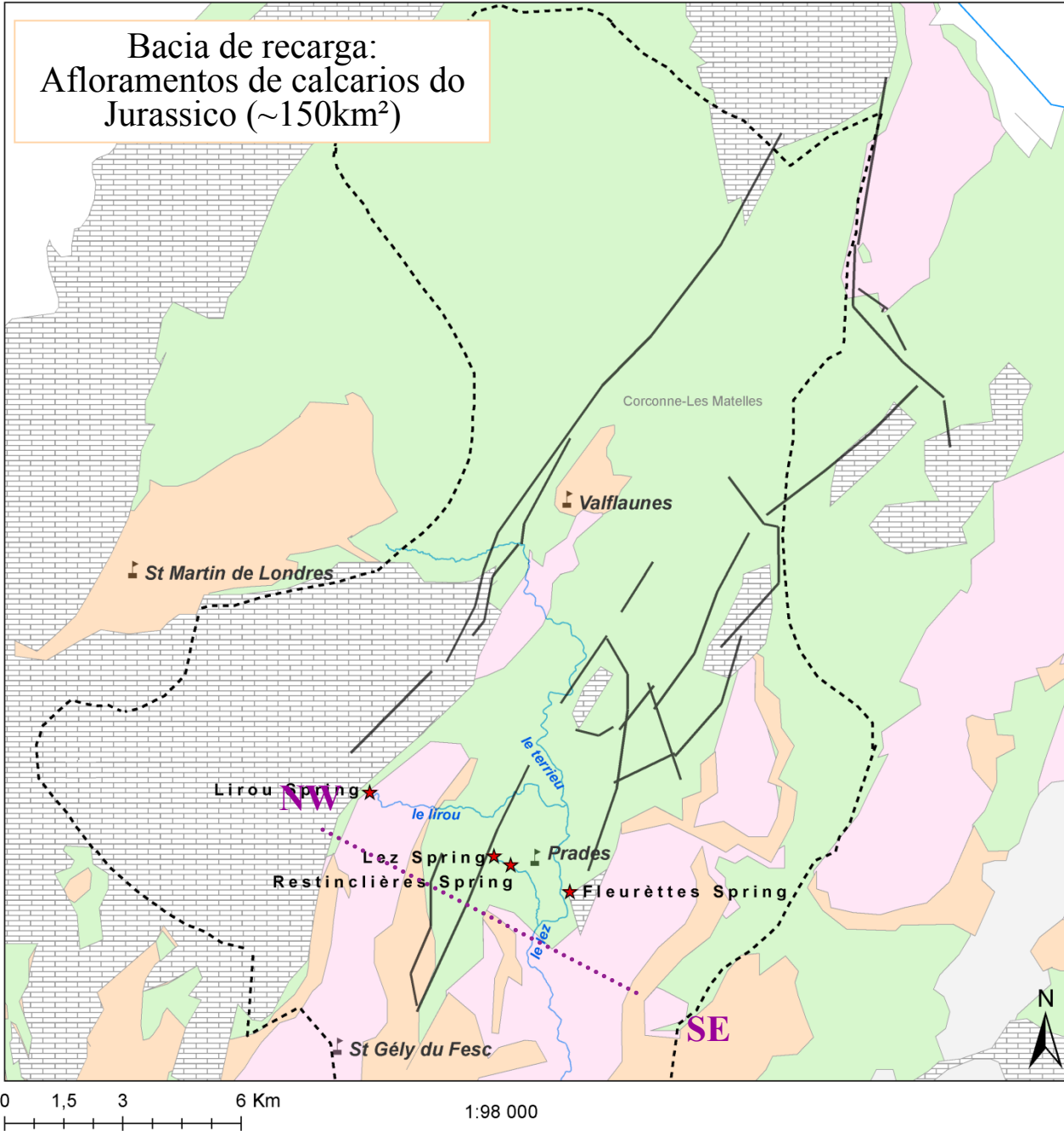
- Avaliar possíveis mudanças na química de águas subterrâneas na nascente do Lez entre 1973 e o presente;
- Determinar como a alteração das condições hidrodinâmicas, antes e após o início do bombeamento intenso pôde afetar a química das águas subterrâneas.
- Este estudo foi realizado através:
  - Do monitoramento das características químicas e físico-químicas das águas,
  - Comparando as características **atuais** com as de **1973**, antes e depois da instalação da estação de bombeamento





## Area de estudio





France

**Nascentes do sistema do Lez**

- ★ Fleurèttes
- ★ Gour Noir
- ★ Lez Spring
- ★ Lirou
- ★ Restinclières

**Estações pluviométricas**

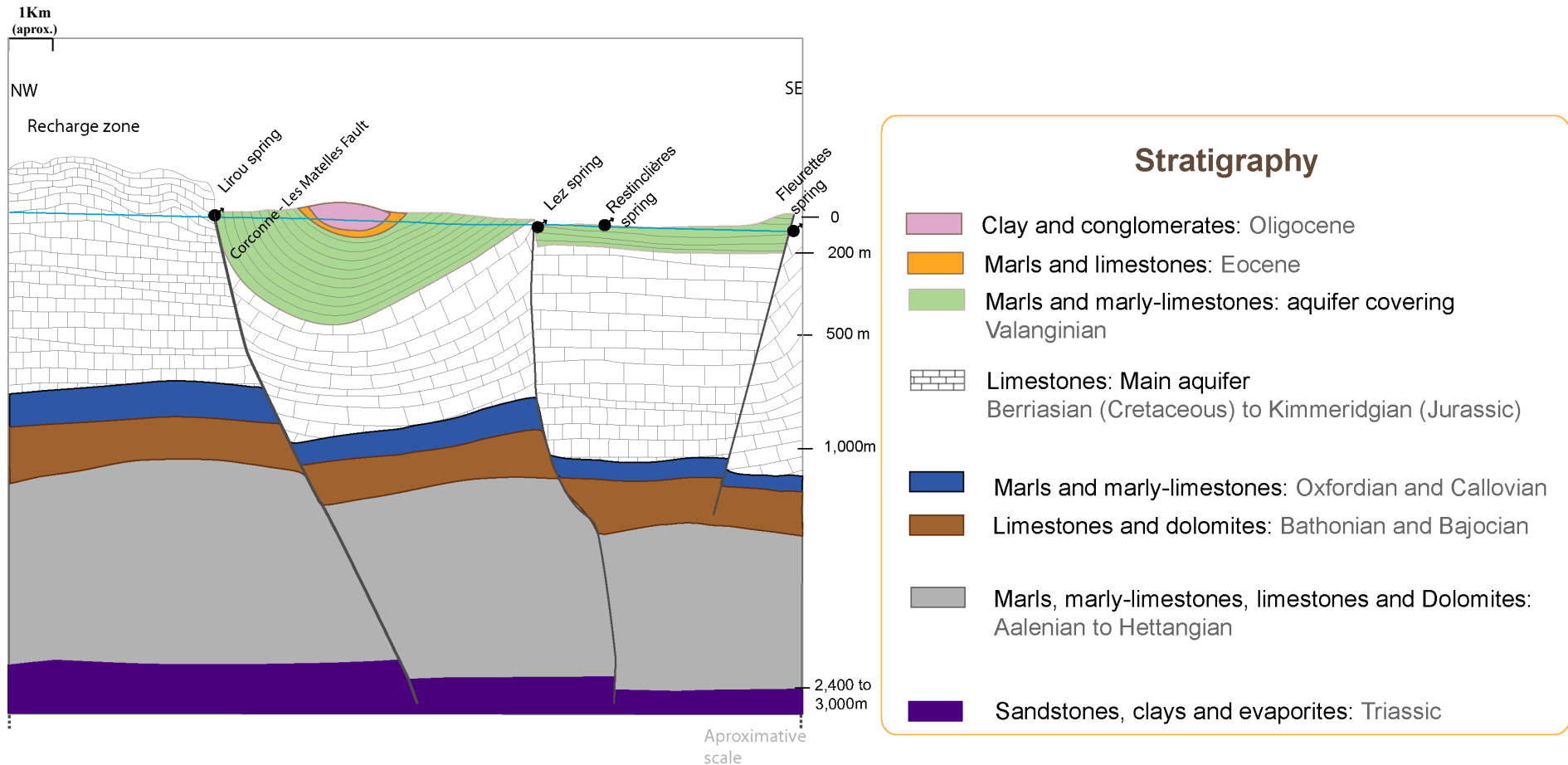
- ▬ Prades
- ▬ St Martin de Londres
- ▬ Valflaunes

**Geologia**

- ▬ Mioceno: Calcário
- ▬ Oligoceno: Argila e conglomerados
- ▬ Eoceno: Calcário
- ▬ Cretáceo: Mármore e calcários marnosos
- ▬ Jurássico: Calcários
- Rio principal e tributários
- Falhas
- - - Delimitação da zona em conexão hidráulica com a nascente do Lez (Testes de Bombeamento)

Thierry and Bérard (1983)

# Perfil geológico simplificado



## Sistema carstico do Lez:

Parcialmente confinado

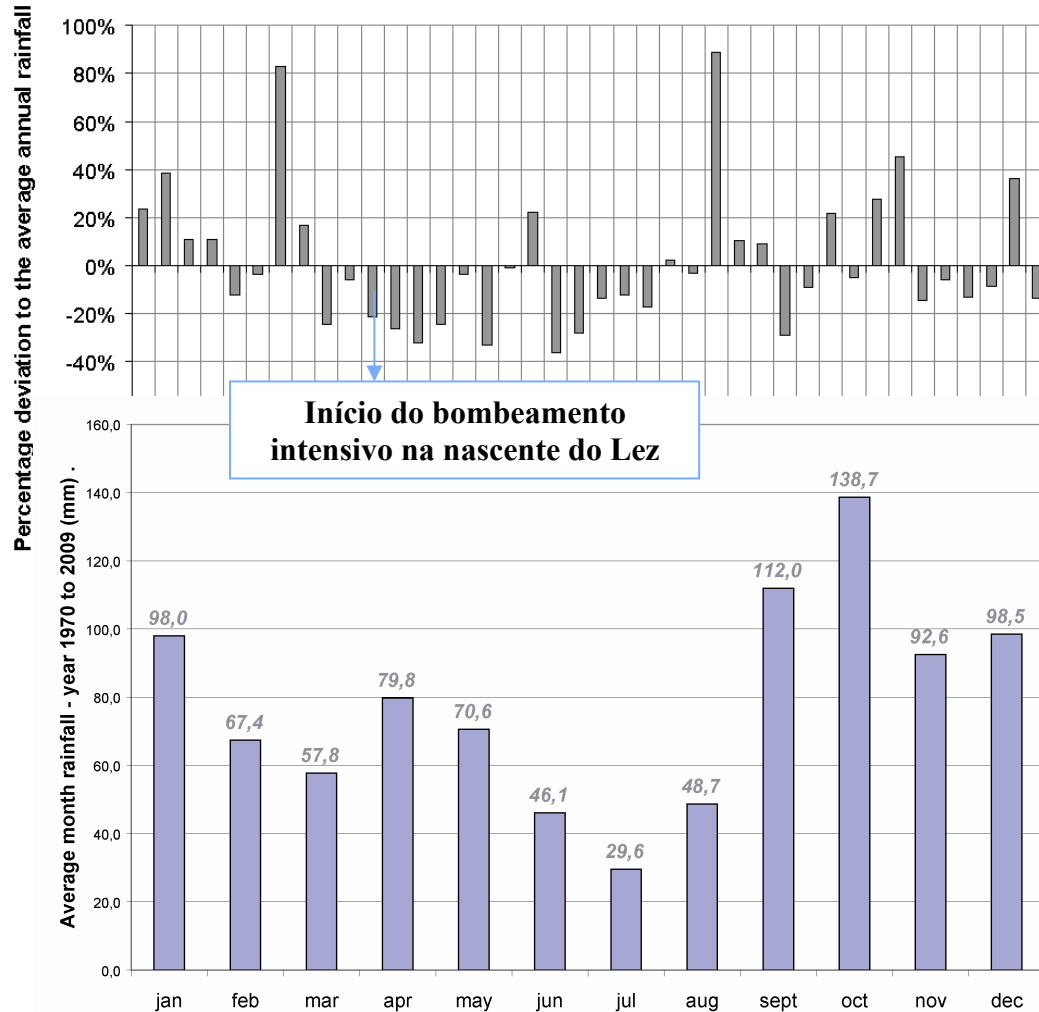
## Principais eventos tectônicos:

- Orogenia do Hercynian/Variscan
  - Formação dos Pirineus
  - Abertura do golfo de Lion

## A crise salina do Messiniano:

Carstificação intensa que alcançou varias centenas de metros de profundidade

# Pluviometria – Estação pluviométrica Valflaunès (MétéoFrance)



**Chuva anual média**  
 (Últimos 40 anos): 942 mm

2006-2007: 810mm

2007-2008: 840mm

**Distribuição sazonal das chuvas(1970-2010):**

Outono: 37%

Inverno: 27%

Primavera: 22%

Verao: 13%

**Primeiros eventos de recarga (ciclo hidrológico):**

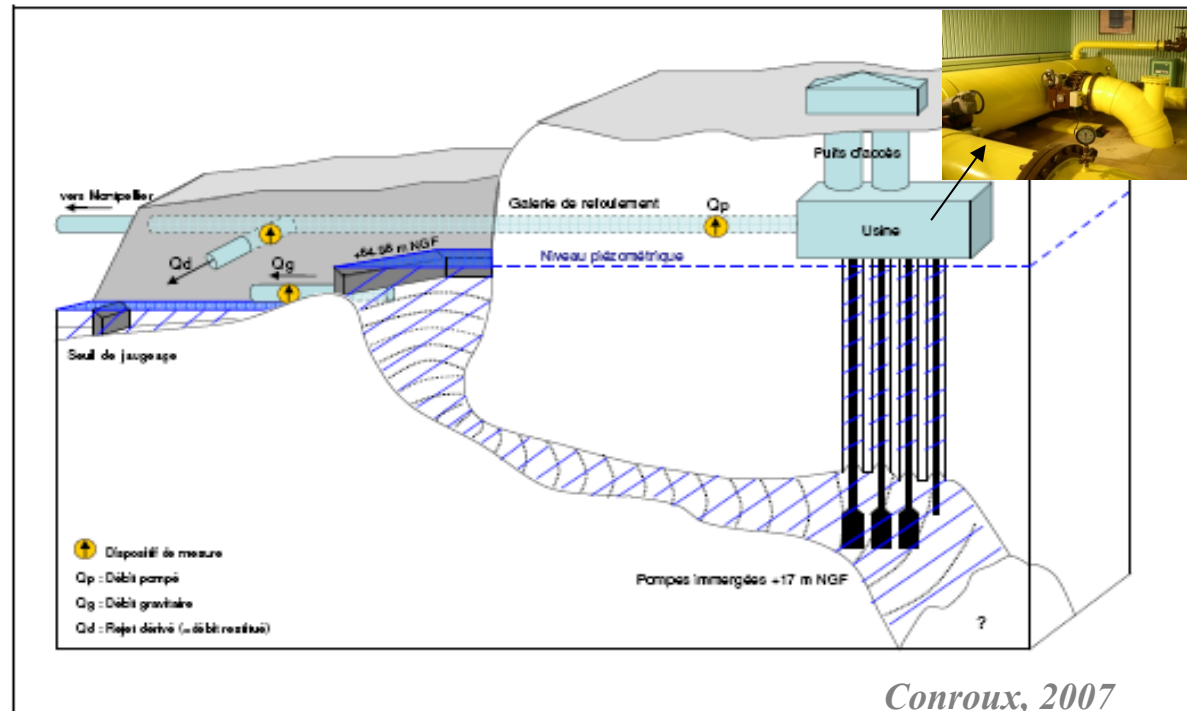
Setembro / Outubro

# O bombeamento intensivo na nascente do Lez: desde 1981



**Desvio parcial da vazão bombeada:**

**Manutenção da vazão ecológica do rio Lez durante o verão.**



*Estação de bombeamento subterrânea escavada*

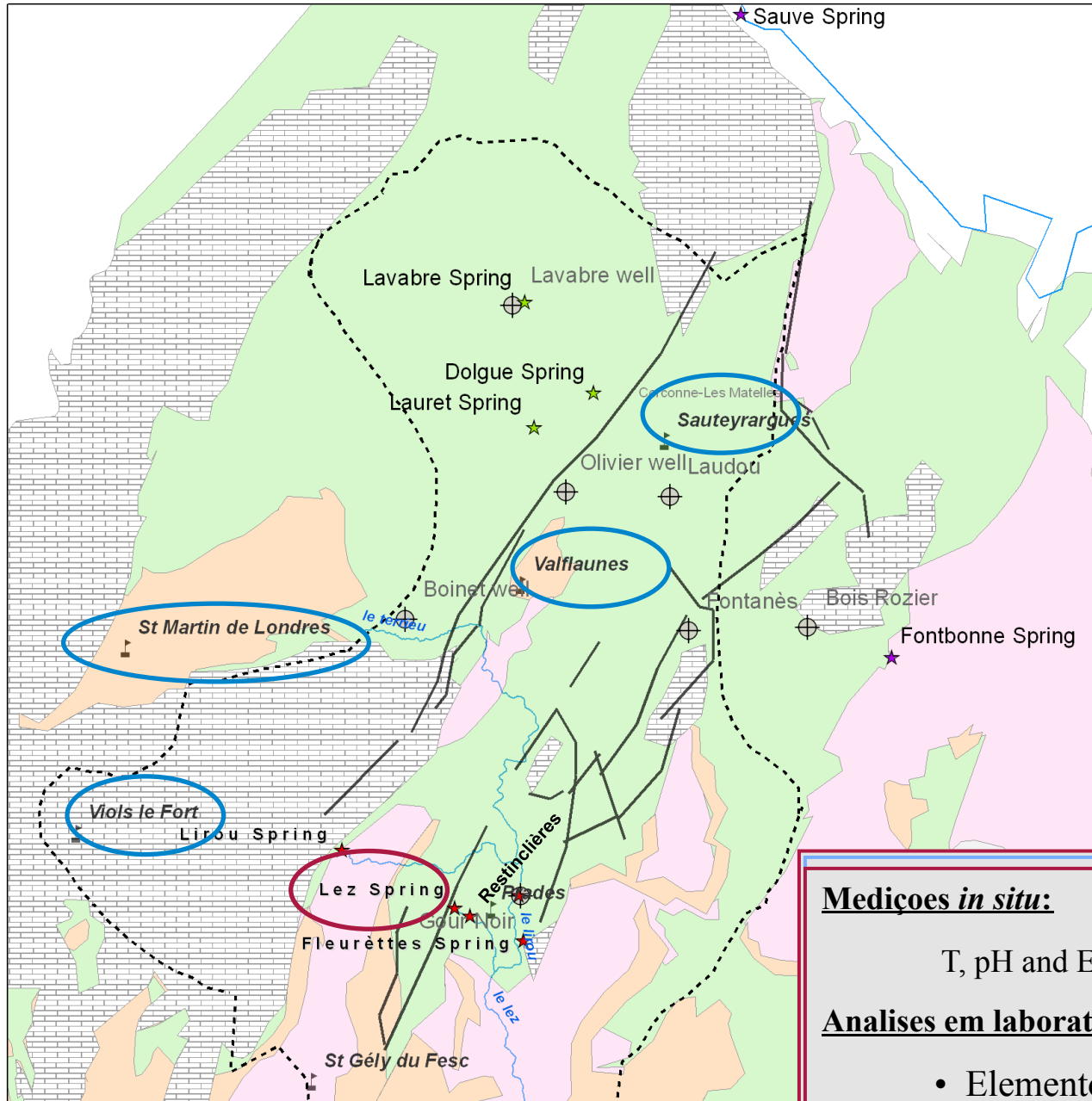
O bombeamento intensivo retira água diretamente de uma estação subterrânea

Vazão máxima de bombeamento: 1,700 l/s



## Metodos





**Lez KS Springs**

- ★ Fleurèttès
- ★ Gour Noir
- ★ Lez Spring
- ★ Lirou
- ★ Restinclières

**Valanginian Springs**

- ★ Dolgue
- ★ Lauret
- ★ Lavabre

**Other Systems Springs**

- ★ Fontbonne
- ★ Sauve Spring

**Geology**

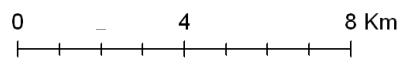
- Miocene: Limestones
- Oligocene: Clay and conglomerates
- Eocene: Limestones
- Cretaceous: marls and marly limestones
- Jurassic: Limestones

**Sampled wells**

- Boinet
- Bois Rozier
- Fontanès
- Gour Noir
- Laudou
- Lavabre
- Olivier

**Rainfall stations**

- ▮ Prades
- ▮ St Martin de Londres
- ▮ Valflaunes



**Medicoes in situ:**

T, pH and EC

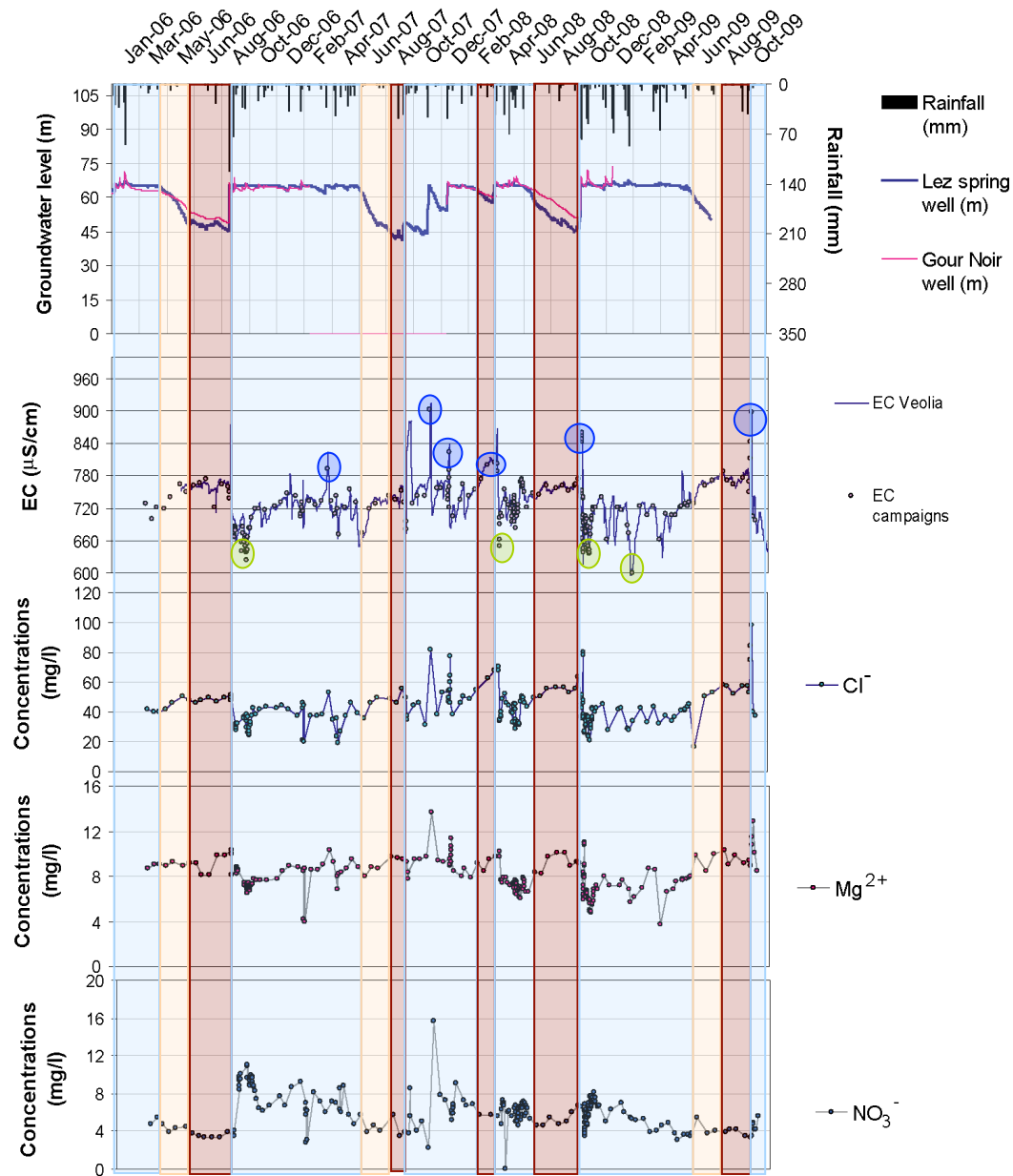
**Analises em laboratorio:**

- Elementos maiores e traço

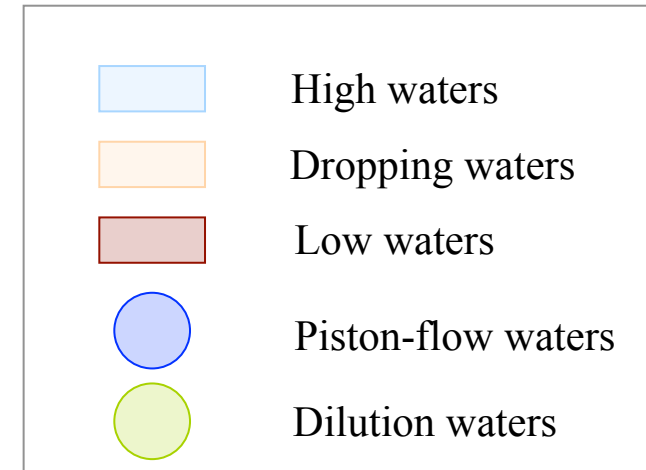


## Resultados

# A hidrodinâmica do aquífero e a química das águas subterrâneas



## Nascente do Lez



### Tipos de água:

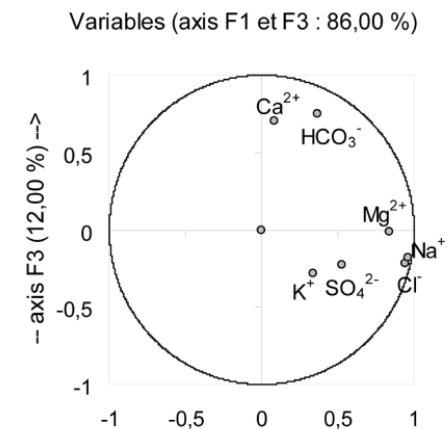
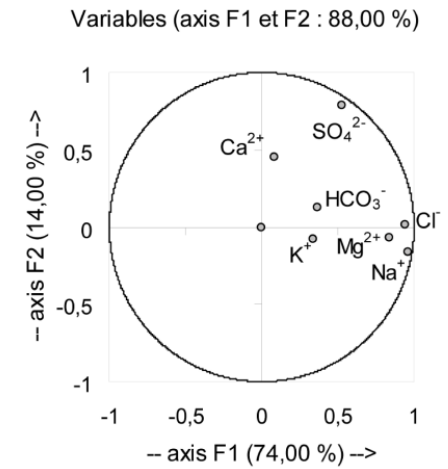
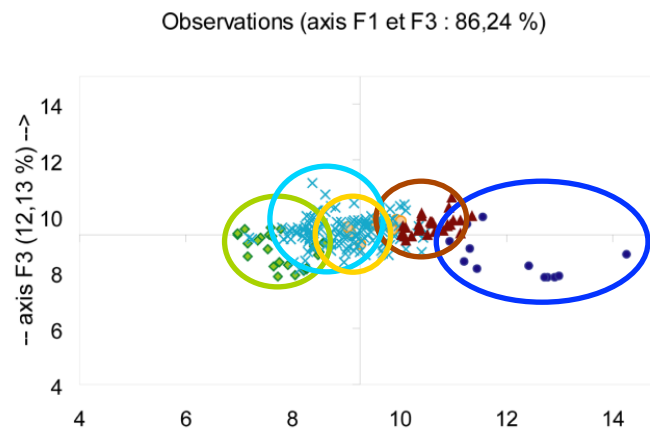
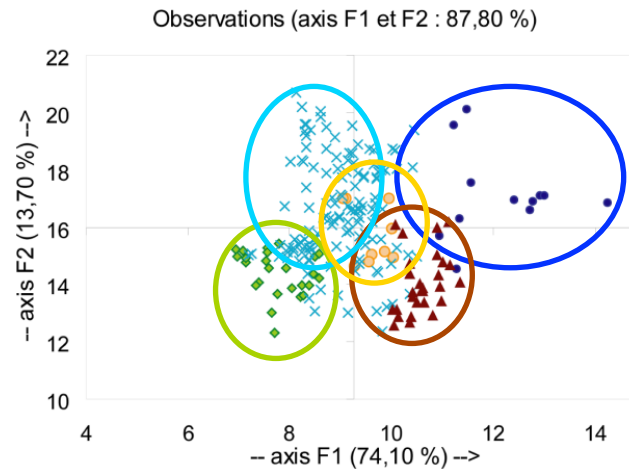
- Resultado da mistura de águas de diferentes origens (*end-members*)
- A participação relativa dos “*End-members*” na mistura: em função da hidrodinâmica

# Caracterização dos tipos de água na nascente do Lez usando Análise Fatorial Discriminante - DFA

Dropping waters e High waters: Difícil caracterização química

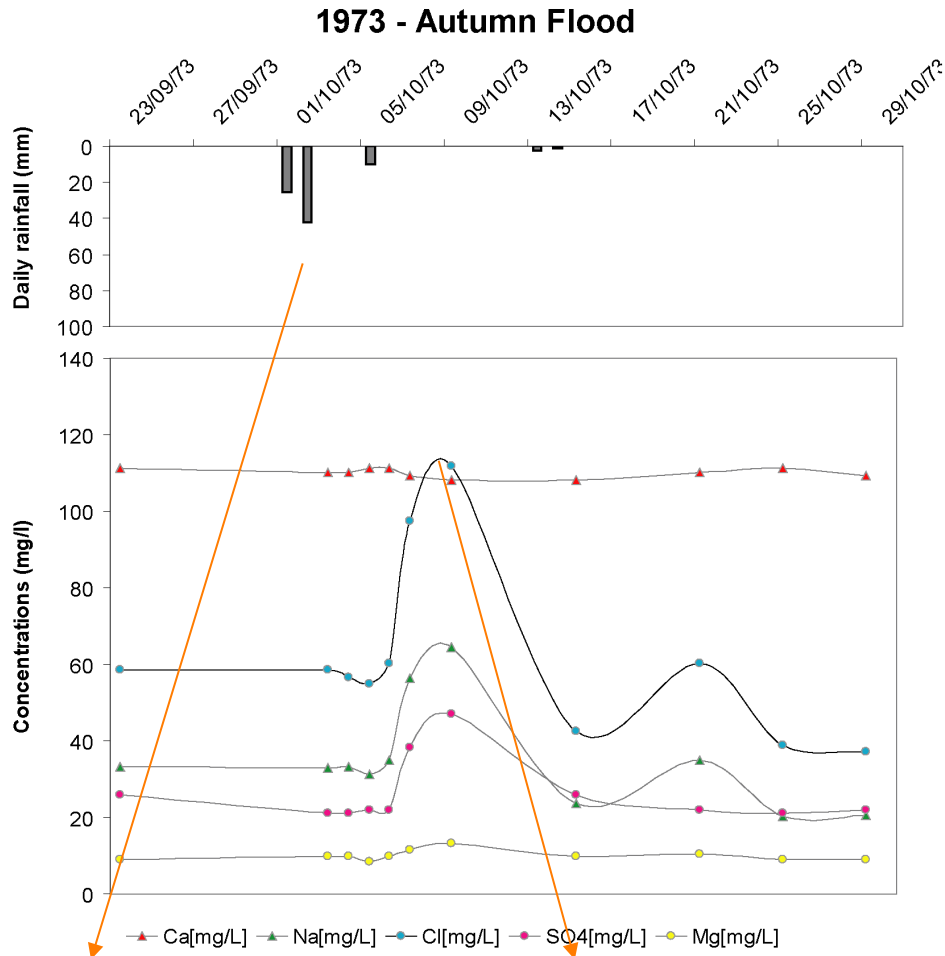
- Notável variabilidade temporal
- Misturas

- ▲ Low waters
- Dropping waters
- × High waters
- Piston-flow waters
- ◆ Dilution waters



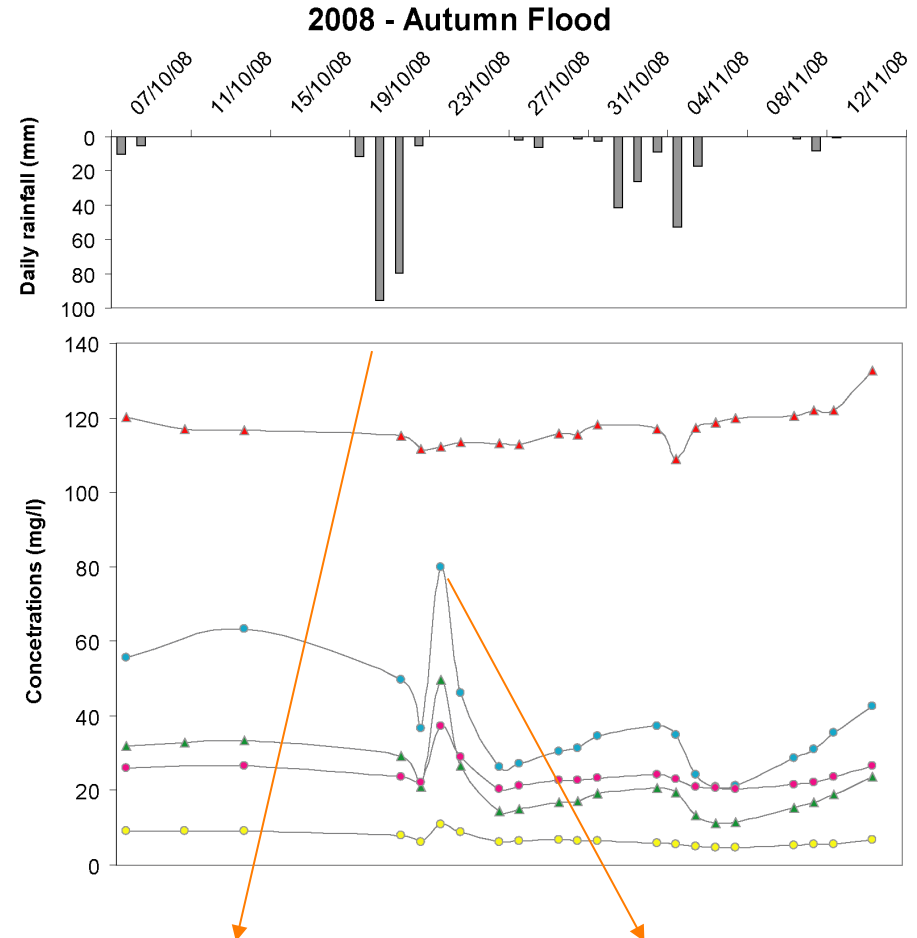


# Comparando as variações químicas durante cheias de outono: 1973 e 2008



**1973:**  
Chuva: 50mm

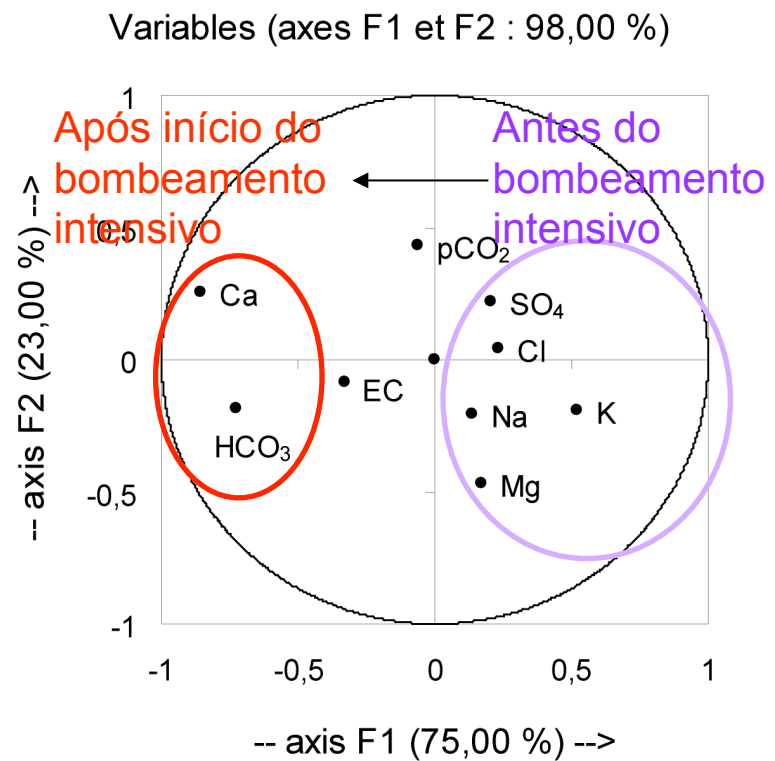
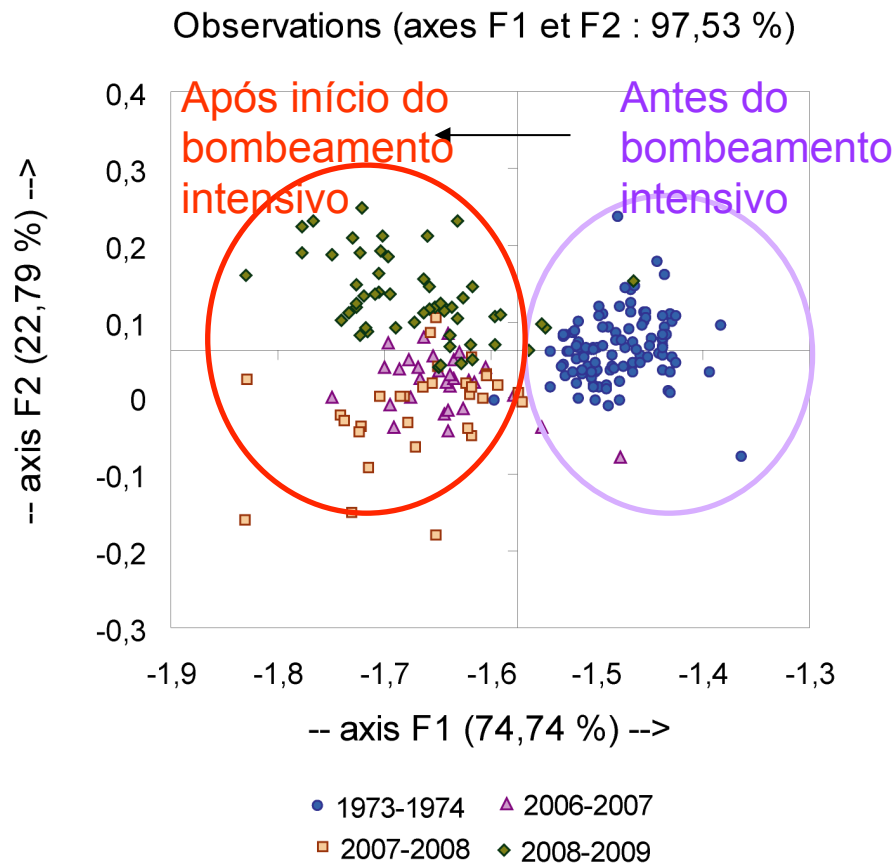
**1973:**  
Cl: 120 mg/l



**2008:**  
Chuva: 110mm

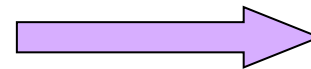
**2008:**  
Cl: 90 mg/l

# Comparando a química das águas: 1973-1974, 2006-2007, 2007-2008 and 2008-2009 (DFA)



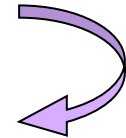
## O impacto de 28 anos de exploração intensiva sobre a química da água na nascente do Lez

Intense water exploitation



New hydrodynamics

*Mudanças nas participações dos compartimentos no fluxo da nascente e conseqüentemente mudanças na química da água*



- **Aumento do Ca-HCO<sub>3</sub> :**

**Aumento** da participação das águas do aquífero principal

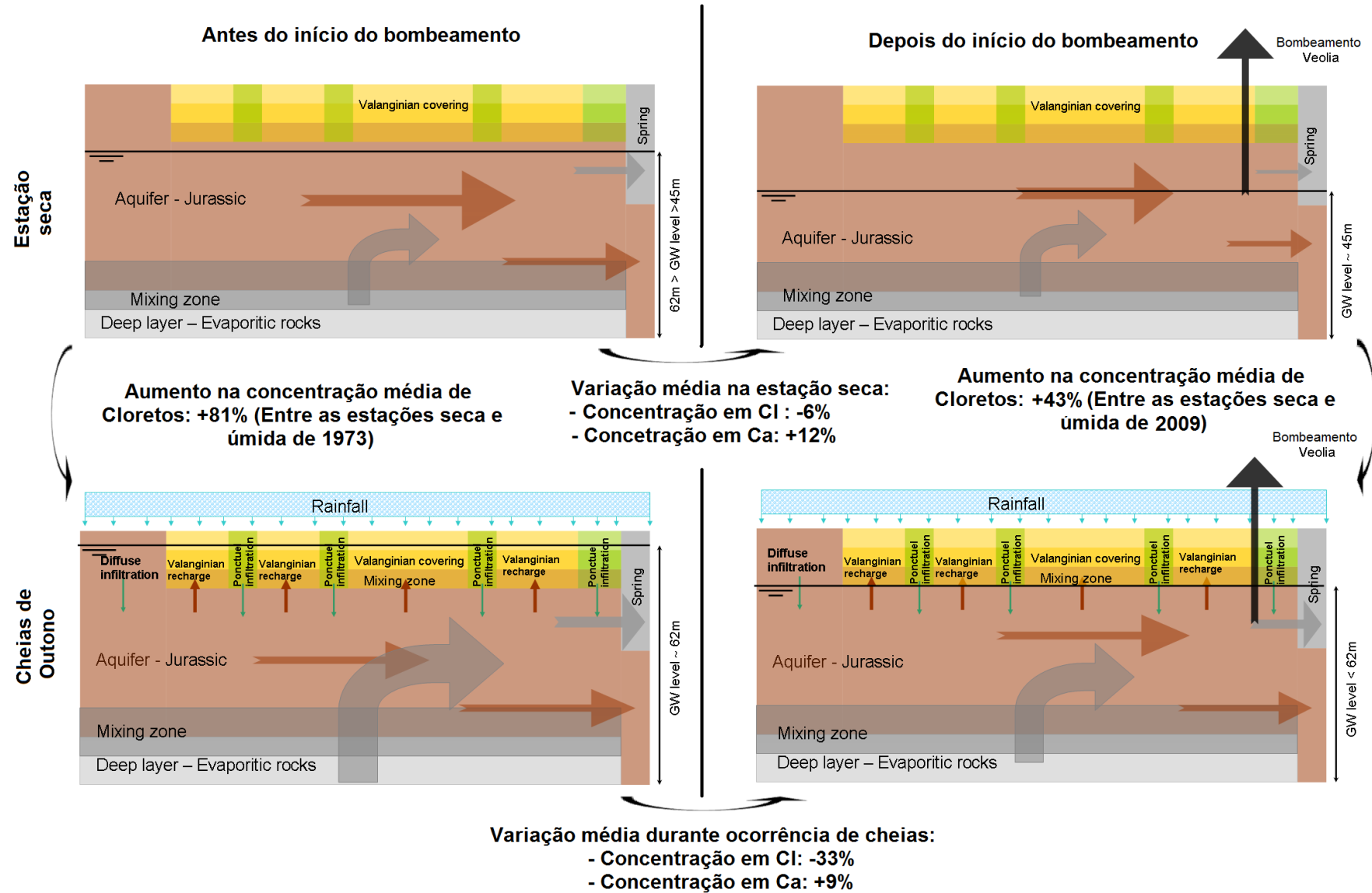
- **Redução do Na-Cl :**

**Redução** da participação do aquífero profundo

- **Aumento do pCO<sub>2</sub> :**

**Redução** do tempo de residência

# Modelo conceitual da circulação de água no aquífero do Lez antes e depois do bombeamento intensivo







## Conclusoes

## Principais conclusões

**Os resultados denotam as consequências diretas da intervenção antropogênica sobre o funcionamento global do aquífero**

Consequências:

- Aumento da vulnerabilidade do aquífero;
- Aumento da carstificação do aquífero à longo prazo.





Obrigado!!

Em breve: Carste em carbonatos do Proterozoico : Rio Corrente, Bacia do São Francisco, Oeste da Bahia, Brasil.