



Contamination dans l'environnement à proximité du site de Tchernobyl

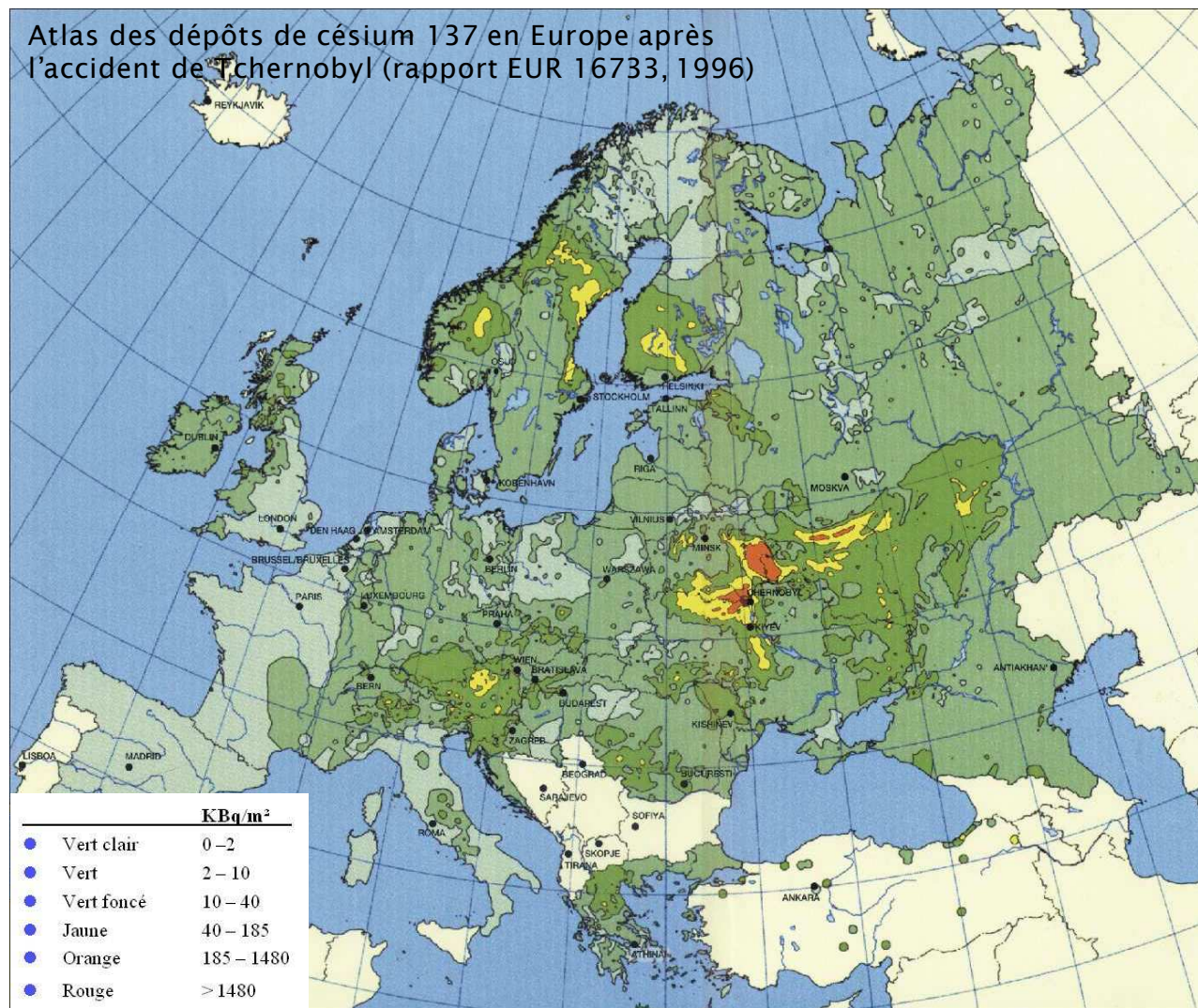
Yves Thiry

Journée technique de la SFRP: Tchernobyl, 30 ans après

15 mars 2016

Tchernobyl: dispersion de 20-40% du ^{137}Cs du réacteur dans l'environnement (OCDE, 1995)

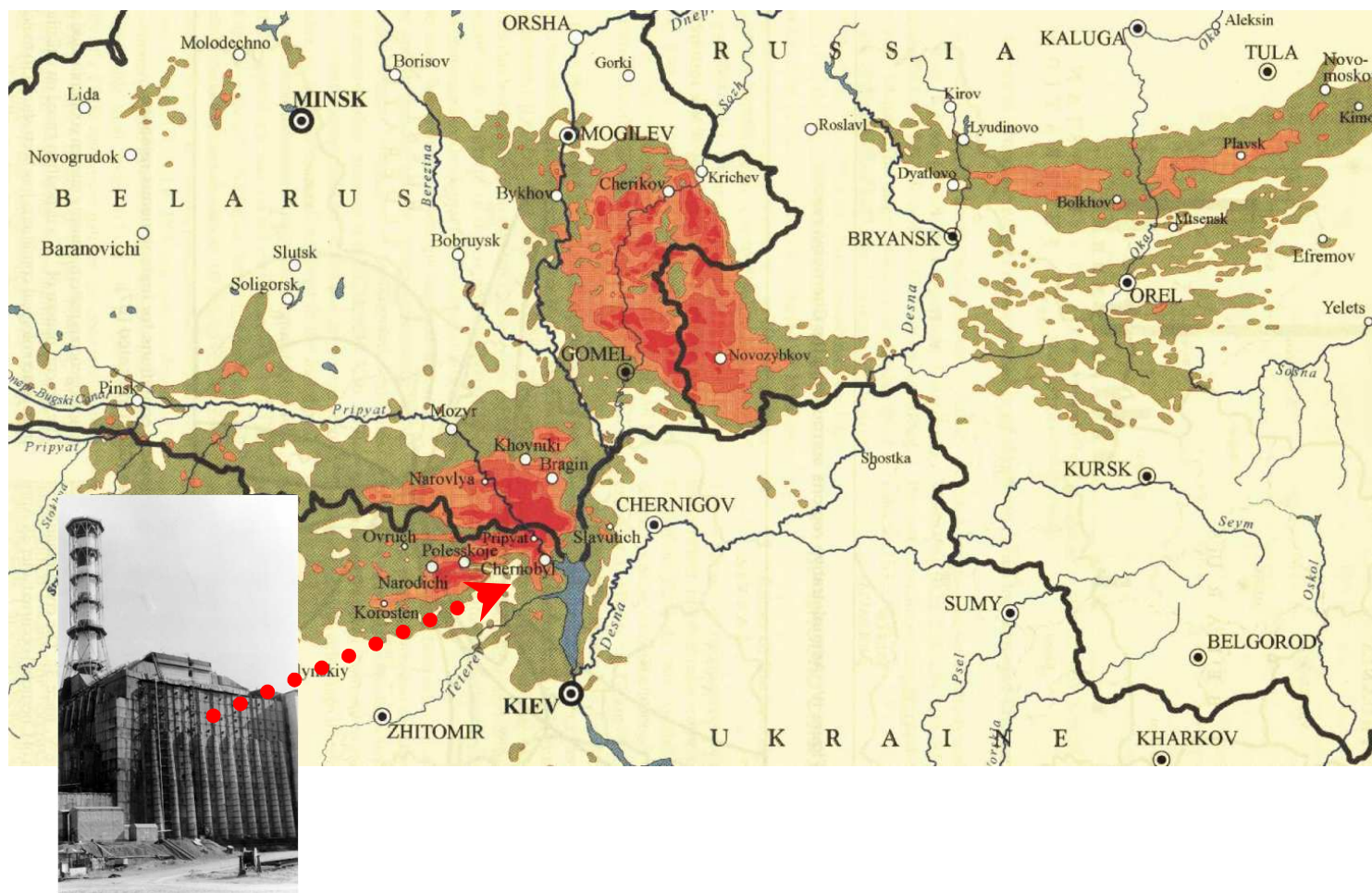
Atlas des dépôts de césium 137 en Europe après l'accident de Tchernobyl (rapport EUR 16733, 1996)



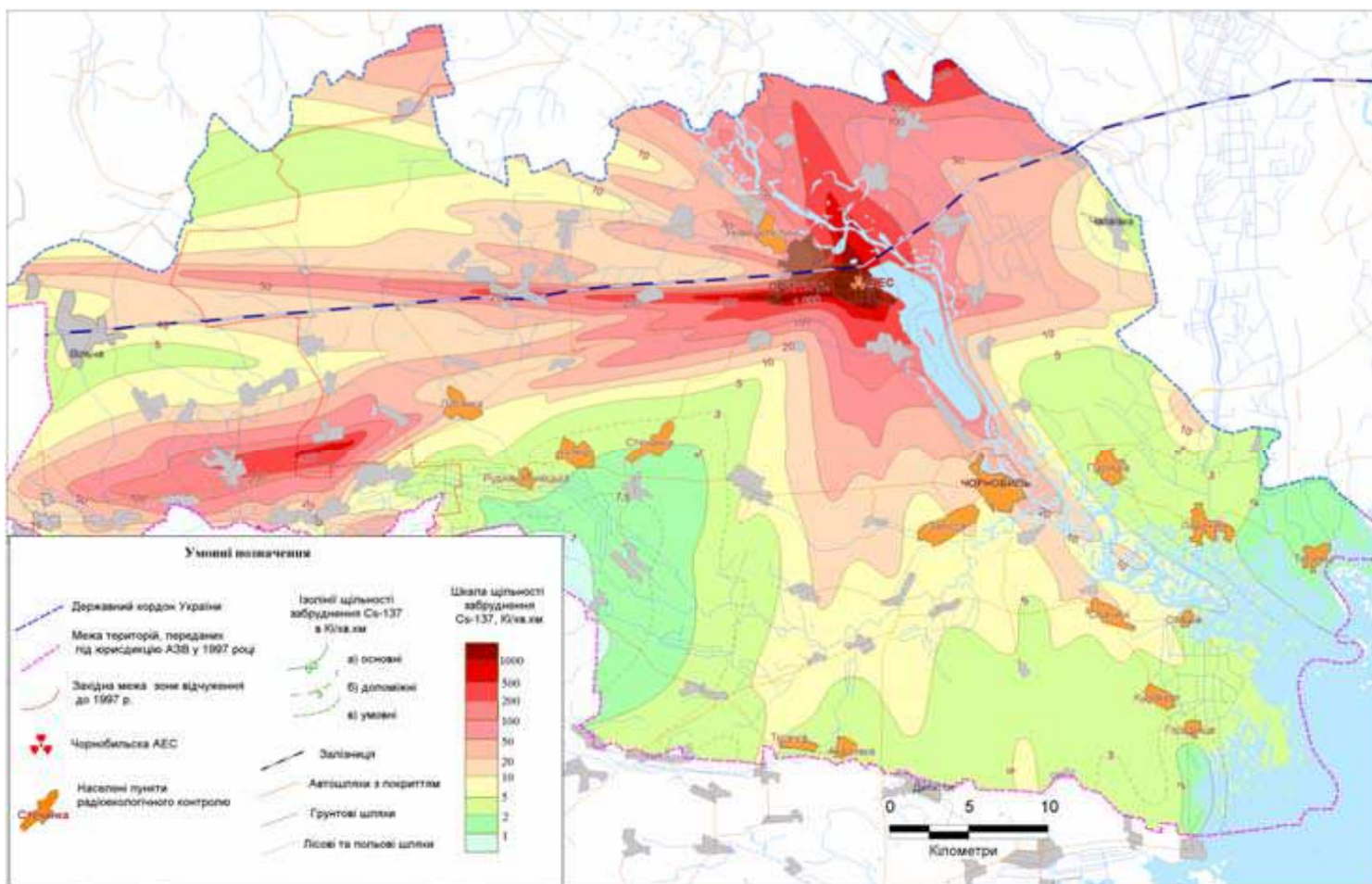
En Europe, une surface de plus de 200 000km² a été contaminée à des niveaux > 40 kBq/m² de ^{137}Cs , souvent en lien avec le lessivage des nuages radioactifs par la pluie, (IAEA, 2006)

Dans la CEI, 29 200 km² ont été contaminés à des niveaux supérieurs à 185 kBq m⁻² (IAEA, 1996)

Trois spots importants: propagation de la contamination et dépôts importants en Belarus



Au sein de la zone d'exclusion, la trace des dépôts radioactifs reflète davantage les relâchements liés à l'explosion et à l'incendie du réacteur

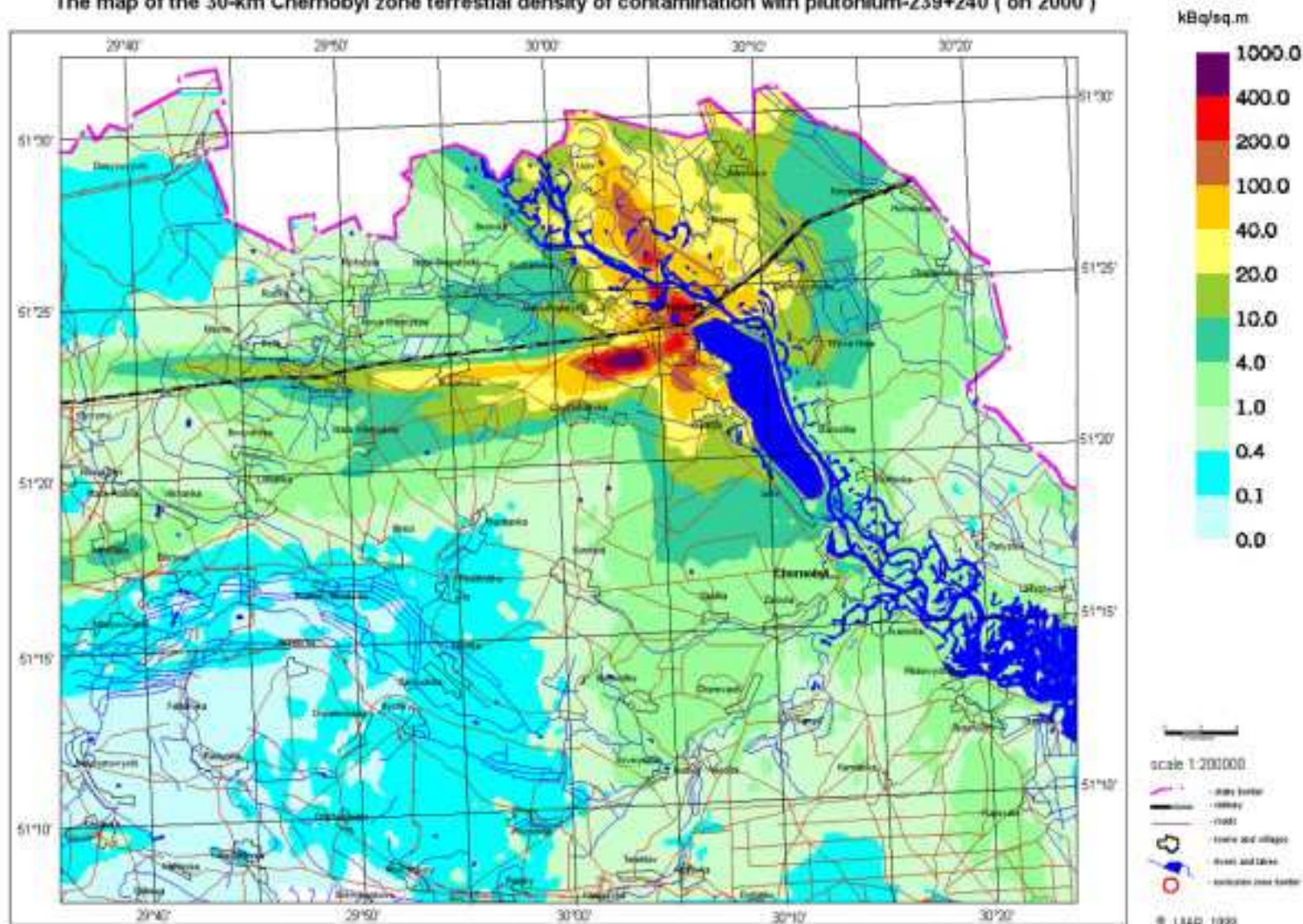


Les dépôts secs particuliers sont une spécificité de la zone d'exclusion

Panache ouest (26/04); panache nord et sud (26/04 - 5/05)

Environ 70-80% des dépôts particuliers sont concentrés dans la partie centrale de la ZE, soit 10% de la superficie totale de la zone (illustré ici pour le Pu)

The map of the 30-km Chernobyl zone terrestrial density of contamination with plutonium-239+240 (on 2000)



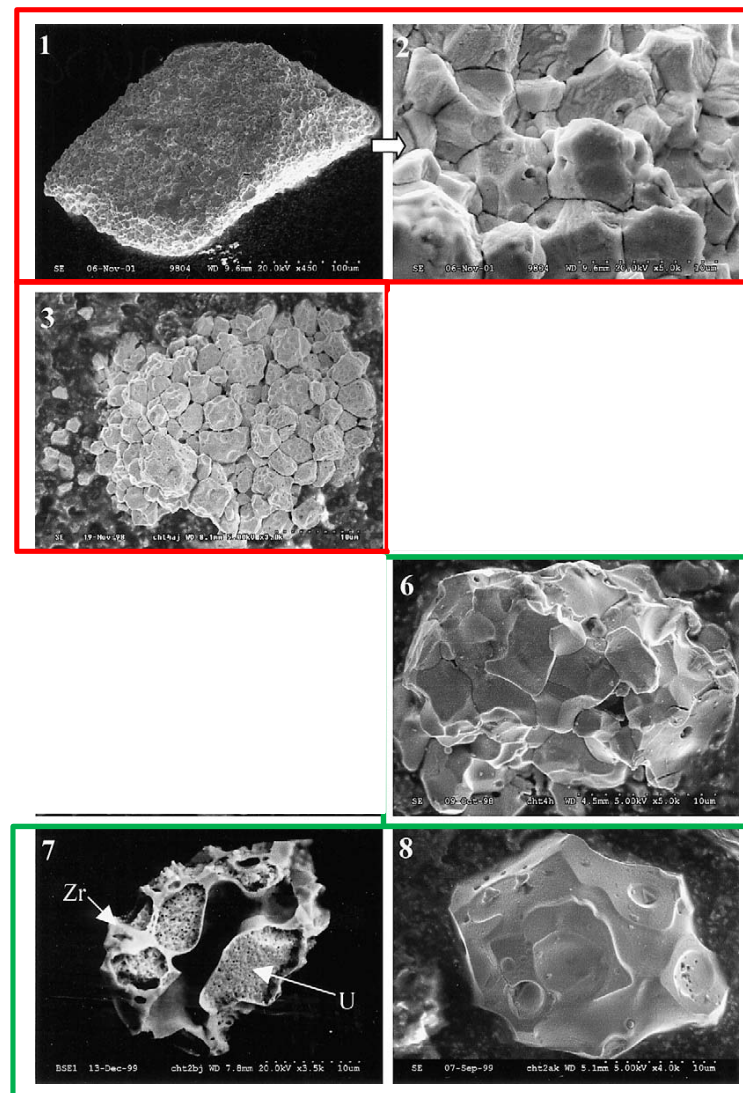
Les formes particulières ont concerné la totalité des relâchements de ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{99}Mo , $^{141,144}\text{Ce}$, $^{154,155}\text{Eu}$, $^{237,239}\text{Np}$, $^{238-242}\text{Pu}$, $^{241,243}\text{Am}$, $^{242,244}\text{Cm}$ et 90% du ^{90}Sr ,

On distingue 2 groupes de particules (Kashparov *et al.*, 2004):

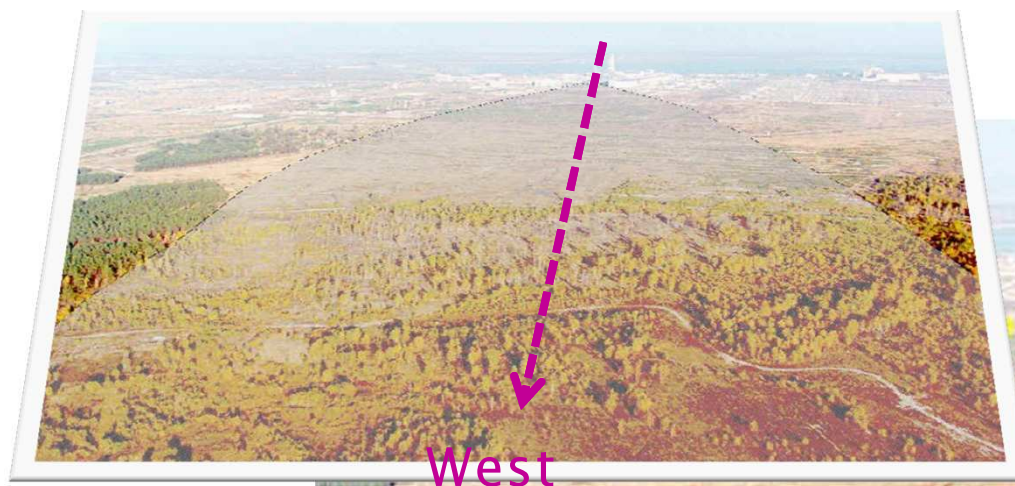
- Des particules de combustibles non oxydées principalement formées lors de l'explosion (26/04/1986),
- Des particules oxydées de combustible formées pendant l'incendie (> 26/04)

Impact sur la mobilité du ^{90}Sr (ex. tranchée T22 (Dewiere *et al.*, 2004):

- 30-60 % associé à des particules d' UO_2 non oxydées, à dissolution lente,
- 10-30 % associé à des particules plus stables de type Zr-U-O



L'extrême irradiation liée aux panaches et aux dépôts radioactifs initiaux a causé le dépérissement des conifères

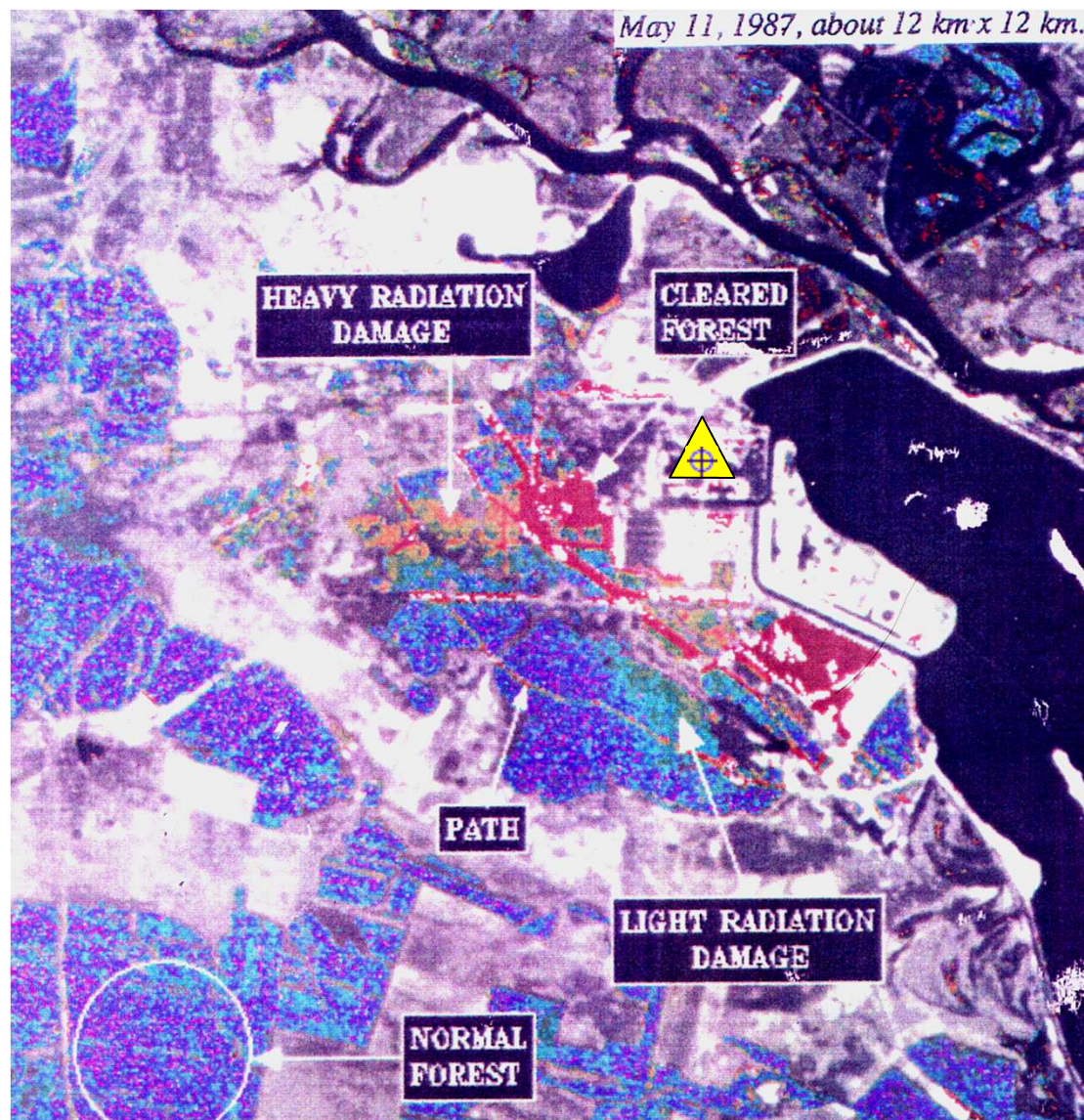


Spring 1986:
Lethal dose: >60 Gy
Heavy dose: 10-60 Gy
Middle dose: 1-10 Gy
Weak dose: 0,1-1 Gy

Arkhipov et al.,
STOTEN, 1994



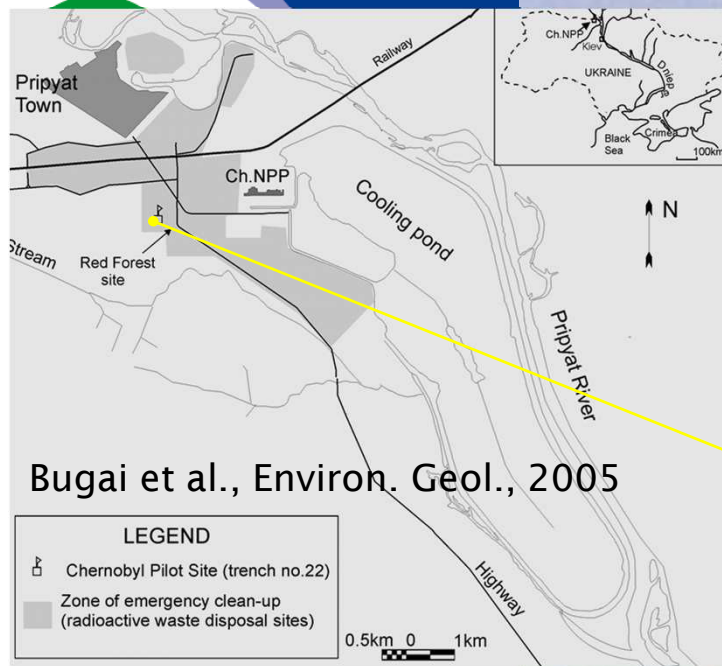
Environ 1500 ha de forêt ont été sévèrement affectés par les radiations (incluant la « forêt rouge »)



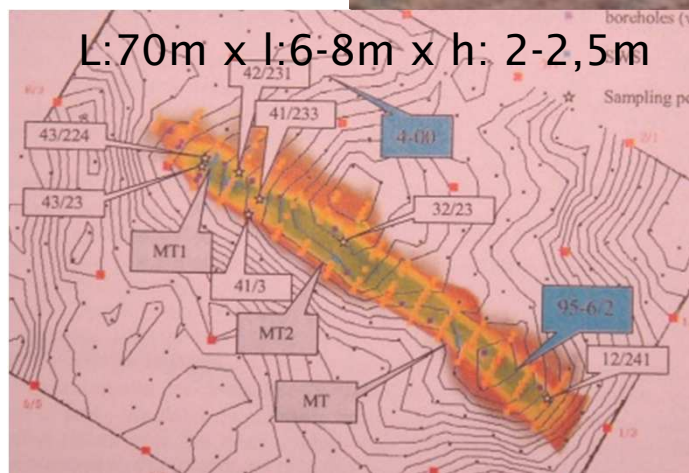
Les travaux de décontamination (1987-1990) ont consisté dans l'enfouissement des sols de surface et de la végétation, avant replantation

« RED FOREST »:

- ~ 450 ha avec ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu isotopes
- ~ 200 tranchées
- nouvelle végétation en croissance



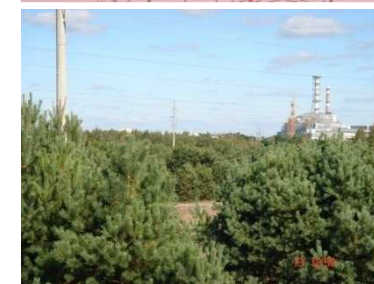
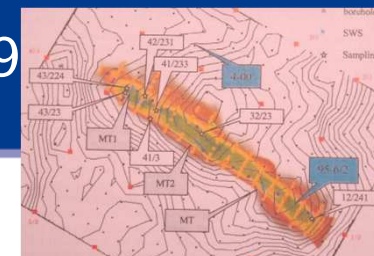
Chernobyl Pilot Site (CPS) area-Trench N°22



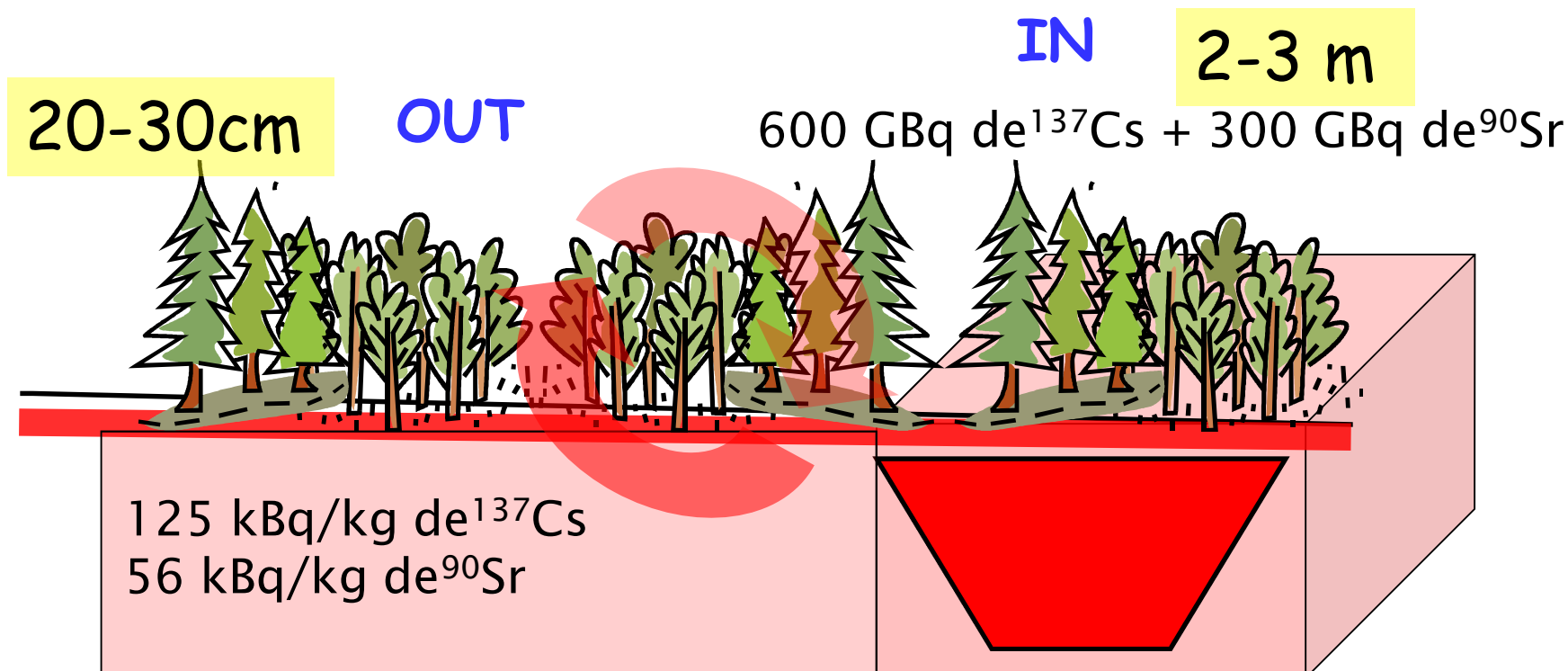
2005:
3300 arbres/ha



Deux questions (Thiry et al., JER, 2009)

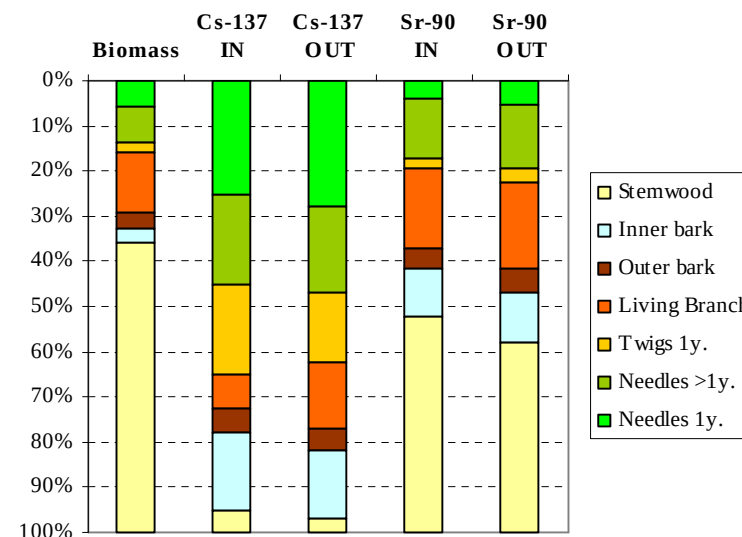
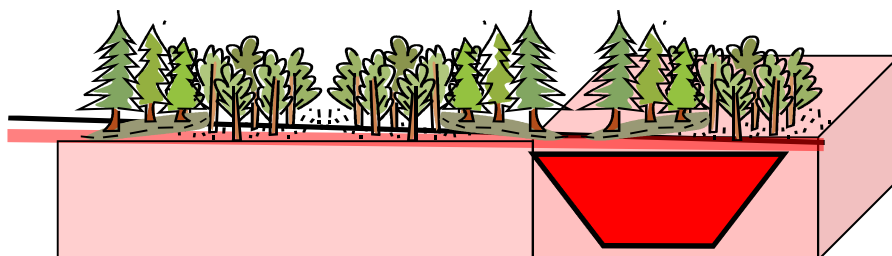


1. Quelle est la capacité des arbres à extraire la contamination des tranchées ?
2. Quel est l'impact à long terme de ces nouvelles forêts sur le recyclage des RN ?





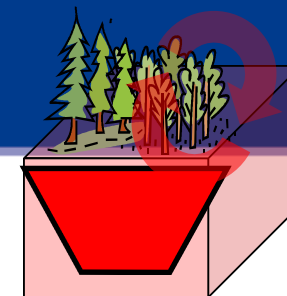
- la contamination en ^{90}Sr est ~10 fois plus élevée que celle en ^{137}Cs
- 80% du ^{90}Sr dans les organes ligneux
- 46% du ^{137}Cs dans le feuillage



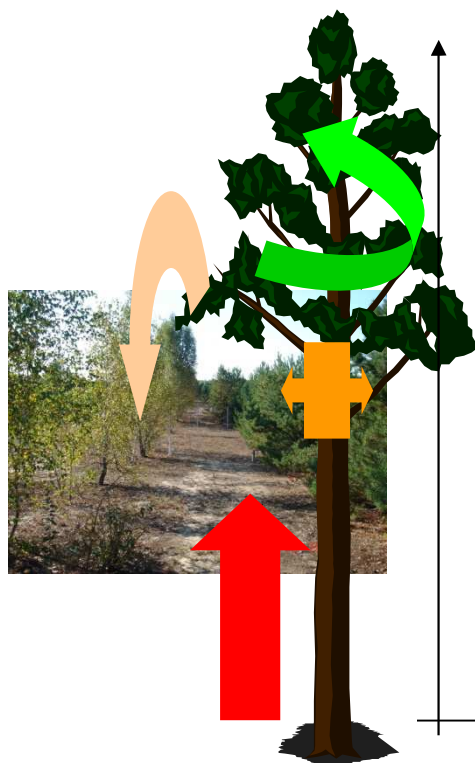
GBq/ha	OUT	IN	IN/OUT
^{137}Cs	1.4	2.3 (0.024%)	1.6
^{90}Sr	21.7	115.8 (2.52%)	5.3

Evidence d'une extraction des RN par la végétation, en particulier du ^{90}Sr

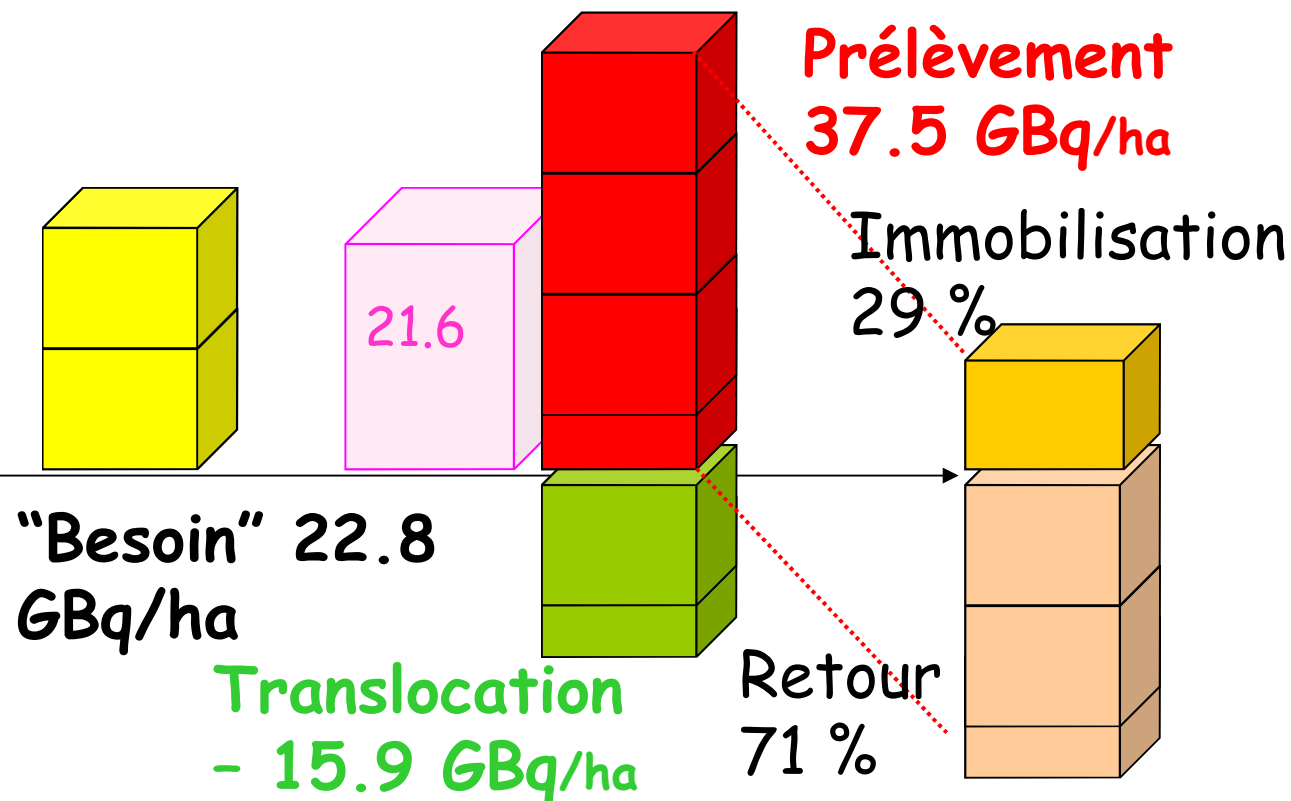
Flux de ^{90}Sr de la tranchée, liés au cycle biologique



0.82 % du contenu total en ^{90}Sr de la tranchée

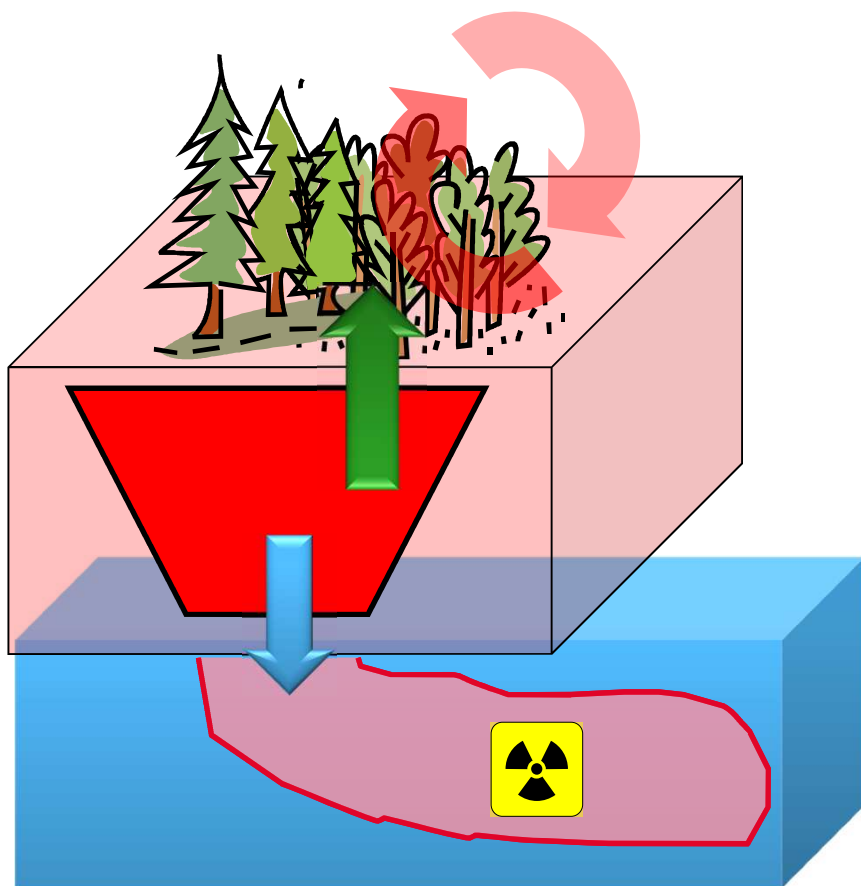


- ("Need")
- Uptake
- Return
- Immobilisation
- Internal transfer



Amplitude des transferts

Le transfert net de ^{90}Sr lié au prélèvement racinaire semble plus élevé que celui des pertes par lessivage



Dewiere et al., JER (2004) a estimé qu'en 2001, 2 à 7% de l'inventaire initial était présent dans la nappe sous-jacente

- Migration annuelle par lessivage = 0.14-0.5%/an
- Prélèvement racinaire = 0.8%/an

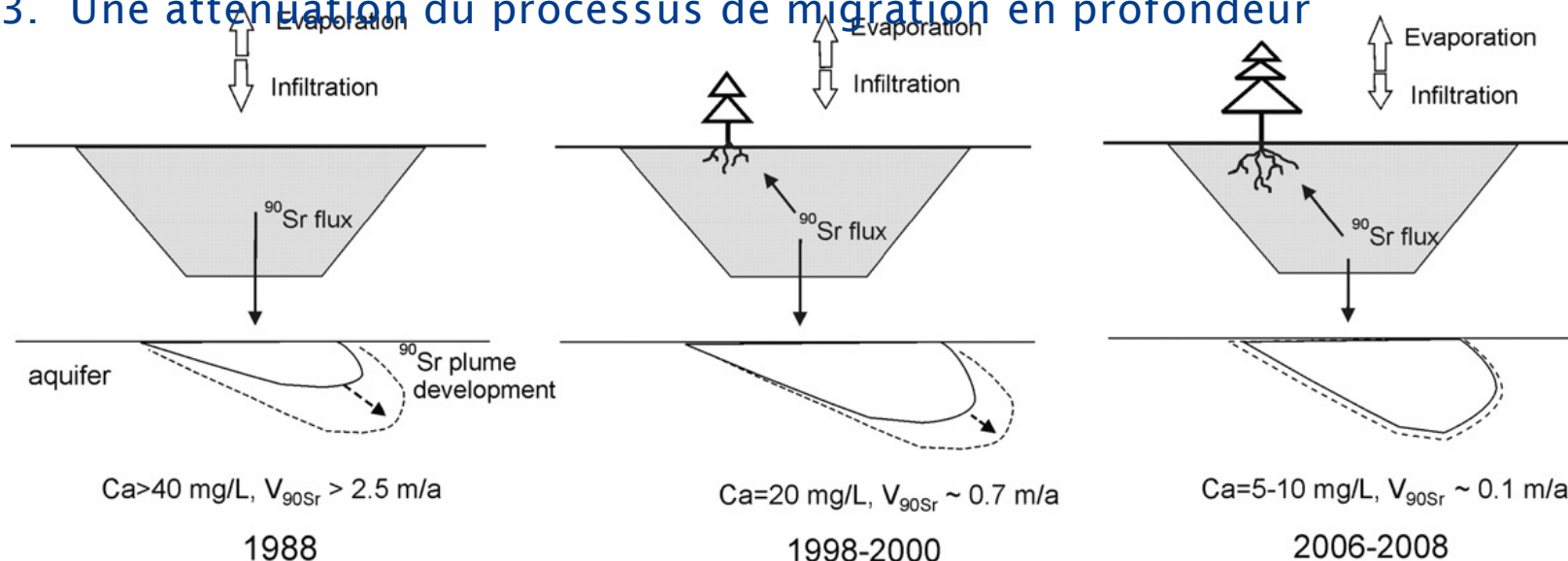
La différence pourrait augmenté avec la croissance du peuplement

Bugai et al., Applied Geochemistry, 2012.

Un constat: une diminution (4-8x) de la concentration en cations majeurs (Ca et Sr)

Trois conséquences:

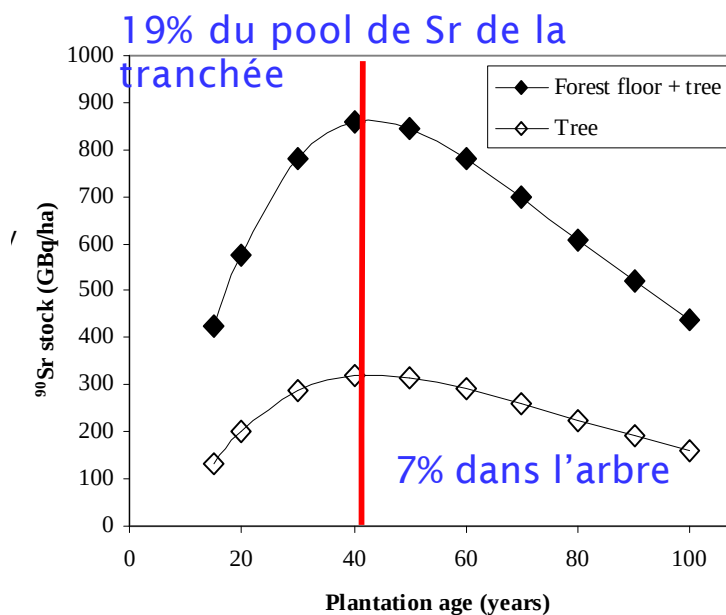
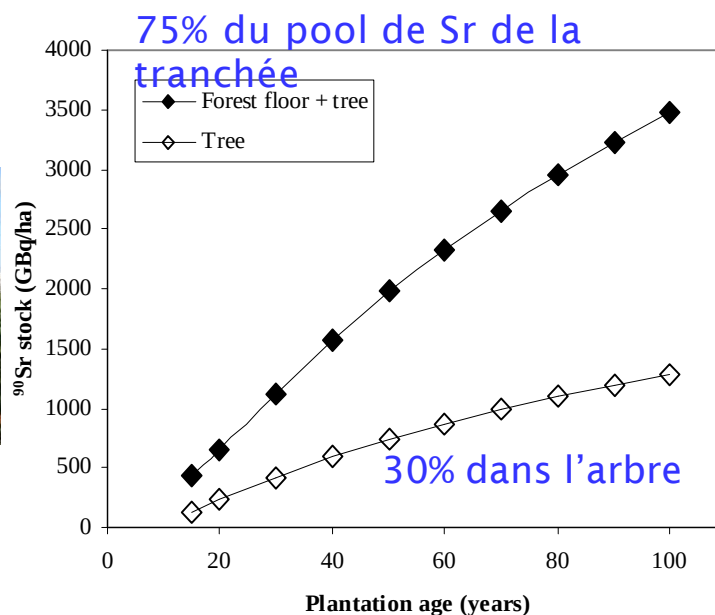
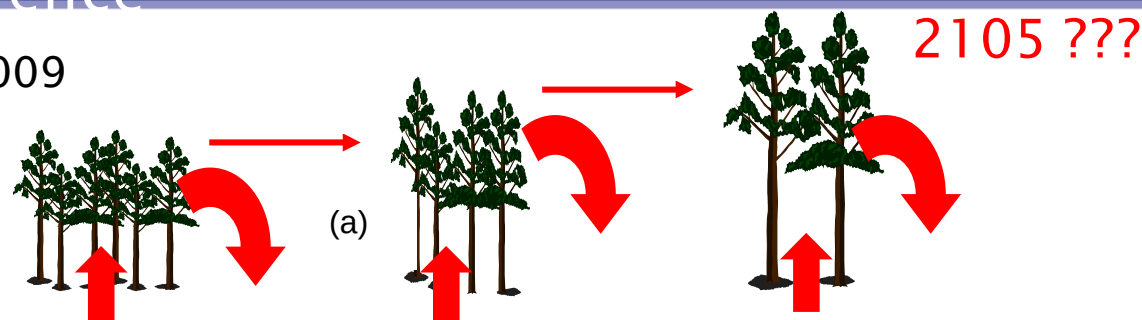
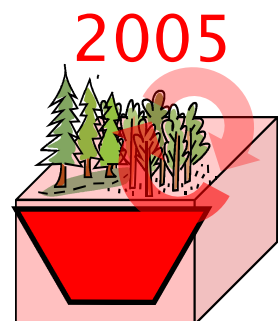
1. Une augmentation du K_D de ^{90}Sr (tranchée et aquifère)
2. Une diminution de la concentration en ^{90}Sr de l'eau du sol
3. Une atténuation du processus de migration en profondeur



On peut suspecter une tendance inverse pour le transfert à la végétation (2 raisons: développement en biomasse et environnement chimique favorable)

Les flux caractérisant le cycle biologique du ^{90}Sr utilisés pour simuler une chronoséquence

Thiry et al., JER, 2009



- Une majorité du ^{90}Sr prélevé dans la tranchée sera retournée à la surface du sol
- Un maximum de recyclage après 40 ans de croissance du peuplement
- A ce moment, 12% à la surface du sol et 7% dans la biomasse des arbres

La zone d'exclusion (>2000 km²) incluant les sites à proximité de Tchernobyl demeure un des endroits les plus contaminés au monde

Colonisation par la végétation naturelle des zones de tranchées et autres espaces abandonnés



Accumulation de bois morts et surdensité des peuplements contaminés à l'abandon



Plusieurs experts s'inquiètent des conséquences radiologiques des feux de forêts

Feux de litière:

Cs-Sr: 4% de l'inventaire émis

Pu: 1 % de l'inventaire émis



Yoschenko et al., JER, 2006

Feux de cimes:

Cs: 20-40 % de l'inventaire émis



Evangeliou et al., Ecological Monographs, 2015
Paliouris et al., STOTEN, 1995

Des projets émergent pour décontaminer la “forêt rouge” et d’autres zones similaires

<https://webgate.ec.europa.eu/europeaid/online-services>

Support to radioactive waste management in Ukraine

Project U4.01/10 D

Project D: Investigation of radioactive waste burial and temporary storage sites in the Chernobyl Exclusion Zone

La tâche est ardue:

- 470 tranchées et décharges, en plus de la biomasse sur pieds
- 884,000 m³ de déchets radioactifs
- ~ 70% de la zone investiguée, soit ~12km²



Objectifs: consolider l’inventaire des déchets de la ZE, et identifier les options de stockage