



GÉNIE ÉCOLOGIQUE & TRAME VERTE ET BLEUE

Restaurer et connecter



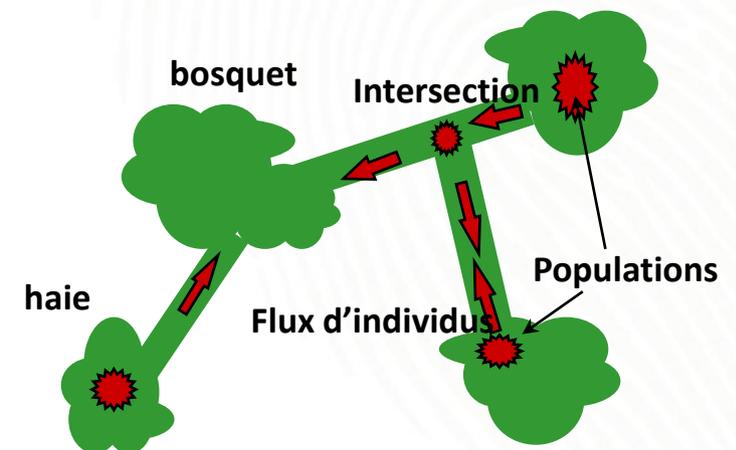
© Aurélien Daloz

Trame verte et bleue et restauration écologique : apport des graphes paysagers et de la modélisation des déplacements



La connectivité du paysage

- Le degré selon lequel le paysage facilite ou contraint le mouvement des espèces (gènes, individus) entre les ressources en habitats (Taylor et al., 1993)
 - Survie des populations, diversité génétique, recolonisation après extinction locale...
 - Compense les effets négatifs de la fragmentation des habitats
- Dépend de deux composantes :
 - Configuration du paysage (structurale)
 - Capacités de dispersion des espèces (fonctionnelle)
 - La connectivité est spécifique à chaque espèce



Enjeux de conservation et d'aménagement

- Nécessité de passer d'une échelle locale à une échelle paysagère
 - Réseaux écologiques, TVB...
- Besoin de passer d'une simple analyse descriptive du paysage à une analyse plus fonctionnelle
 - modèles de distribution d'espèces
 - graphes paysagers et métriques associées (*PC*, *dPC*)
 - outils de modélisation des déplacements : LCP, théorie du circuit
 - du point de vue « écologie de la conservation »
- Question centrale pour l'aménagement du territoire :
 - *Où agir de manière efficace au niveau d'un territoire pour maintenir ou restaurer la biodiversité ?*

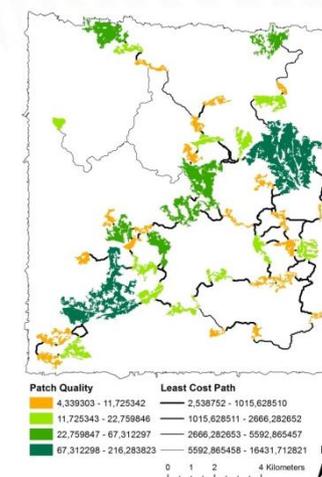
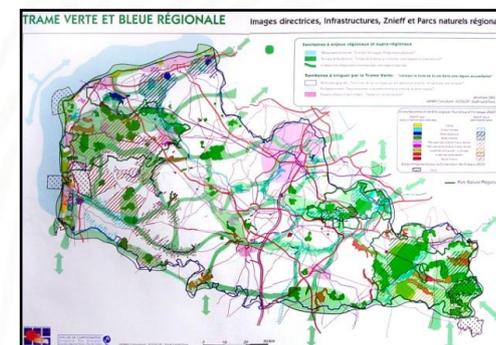
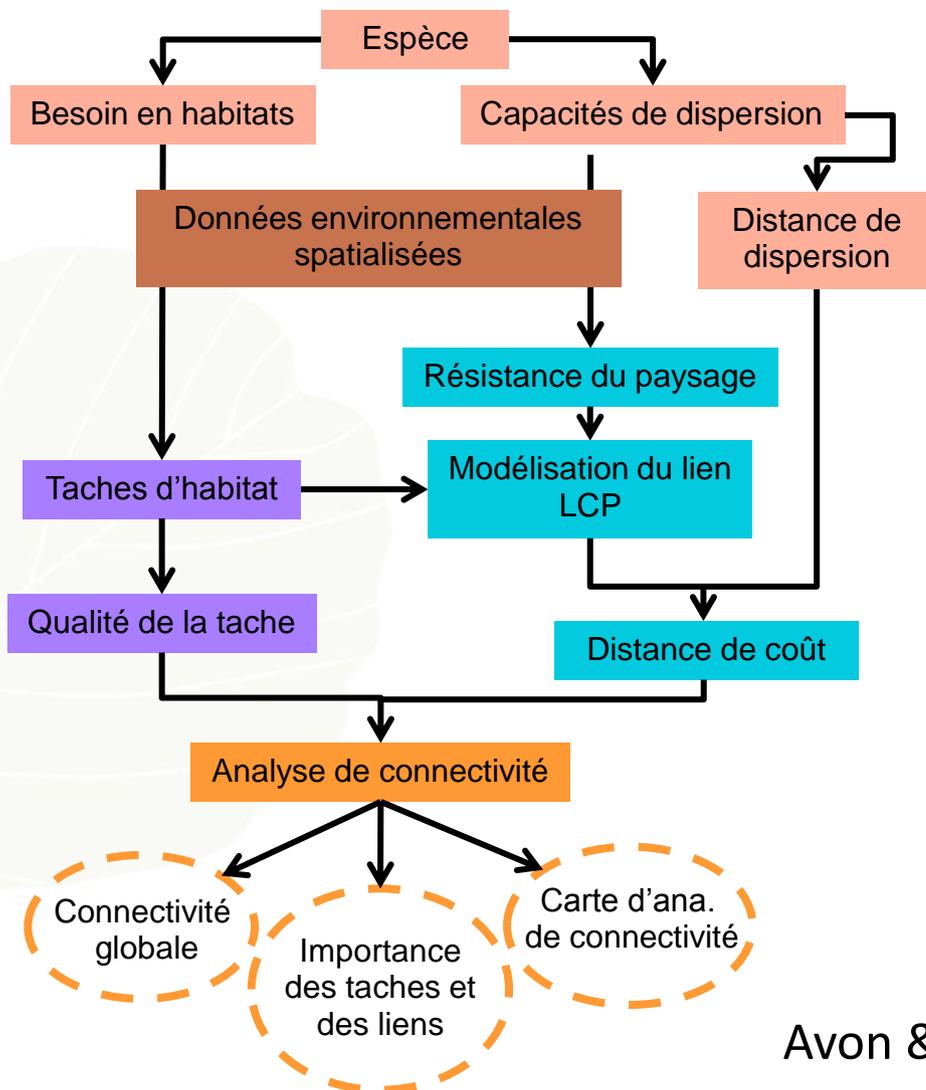


Schéma d'une analyse de connectivité



1. Choix de l'espèce et informations biologiques et écologiques
2. Données environnementales nécessaires ou disponibles
3. Détermination des taches d'habitat
4. Modélisation de la résistance du paysage entre les taches d'habitat
5. Analyse de connectivité du réseau d'habitat par les graphes paysagers et les indices associés pour évaluer la contribution des taches et des liens

Avon & Bergès (2015)



Les graphes paysagers

Écologie du paysage

Paysage / zone d'étude



Graphe

Tache d'habitat



Nœud

Connexion fonctionnelle



Lien

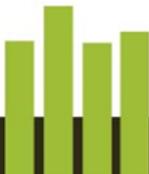
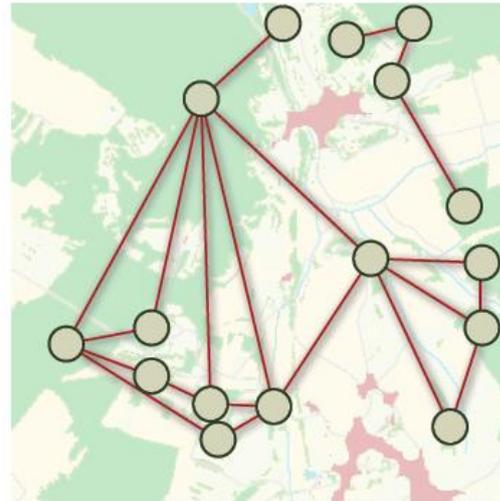
Région connectée



Composante

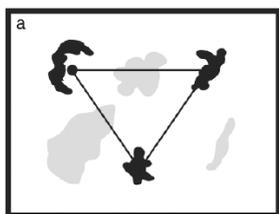
Théorie des graphes

- **Intuitif** : ensemble de taches d'habitat (nœuds) reliés par des connexions (liens)
- **Opérationnel** : fonctionne avec un niveau d'exigence réaliste en termes de données d'entrée
- **Adaptable** : possibilité d'analyser la connectivité selon différents types d'informations et niveau de détail

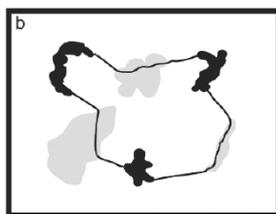


Modélisation des déplacements entre taches

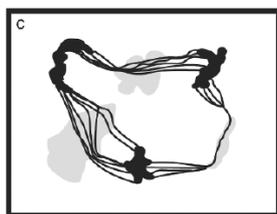
- Nombreuses approches
(Zeller *et al.*, 2012 ; Rayfield *et al.*, 2011 ; Coulon *et al.*, 2015 ; Avon et Bergès, 2016)



Distance euclidienne

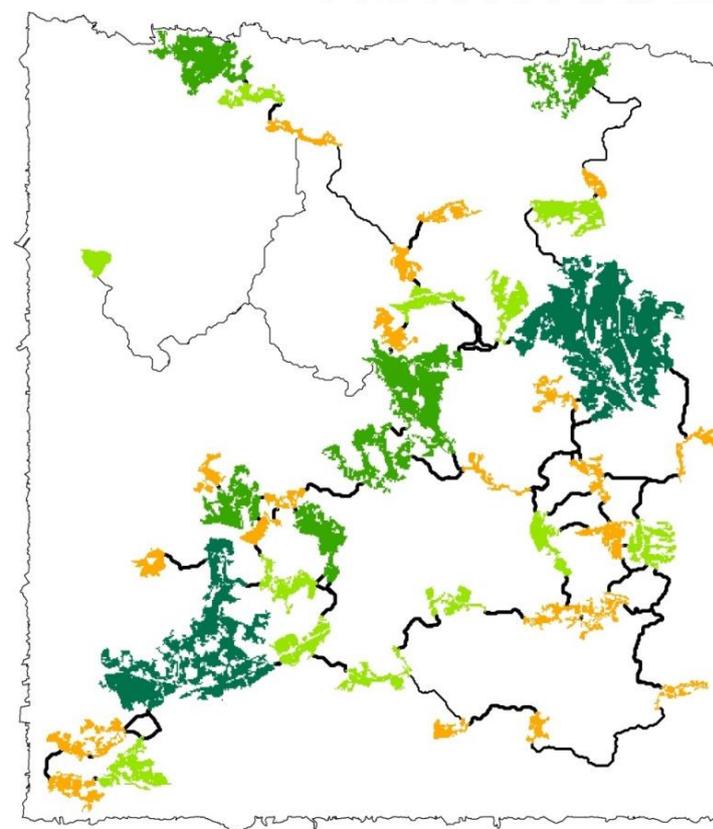


Chemins de moindre coût



Chemins multiples

Quantité d'information écologique incorporée



Patch Quality



Least Cost Path

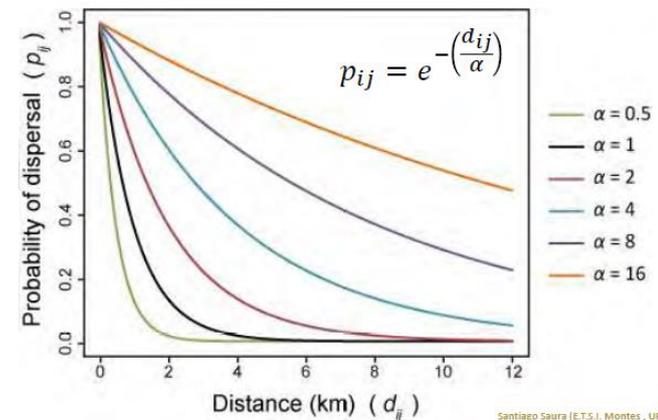


Probabilité de connectivité PC

- La **connectivité** : conçue et mesurée comme la propriété du paysage qui détermine la **quantité d'habitat accessible / disponible**
- Une tache est considérée elle-même comme une zone où la connectivité existe
- *PC* est la probabilité que *deux points sélectionnés aléatoirement dans le paysage tombent dans les taches d'habitat qui sont connectées les unes aux autres, étant donné un jeu de n taches d'habitat et les connexions entre elles*

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j P_{ij}^*}{A_L^2}$$

Saura & Pascual-Hortal (2007)



Santiago Saura (E.T.S.I. Montes, UP)

Priorisation des tâches/liens pour la conservation

- Opérations : retrait des éléments du graphe
- X : métrique de connectivité
- Principe : algorithme de calcul de la valeur écologique de chaque tâche :

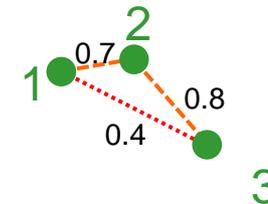
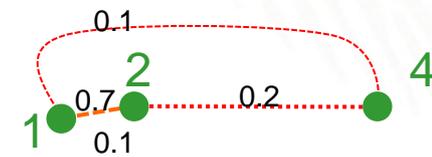
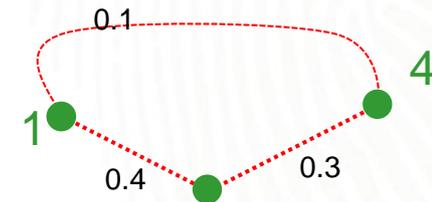
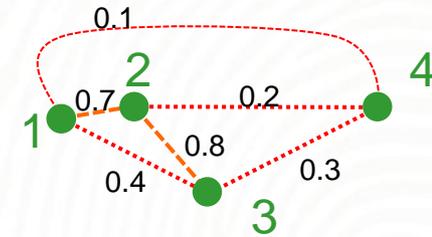
$$dX = 100 \times \frac{X_{avant} - X_{après}}{X_{avant}}$$

avec :

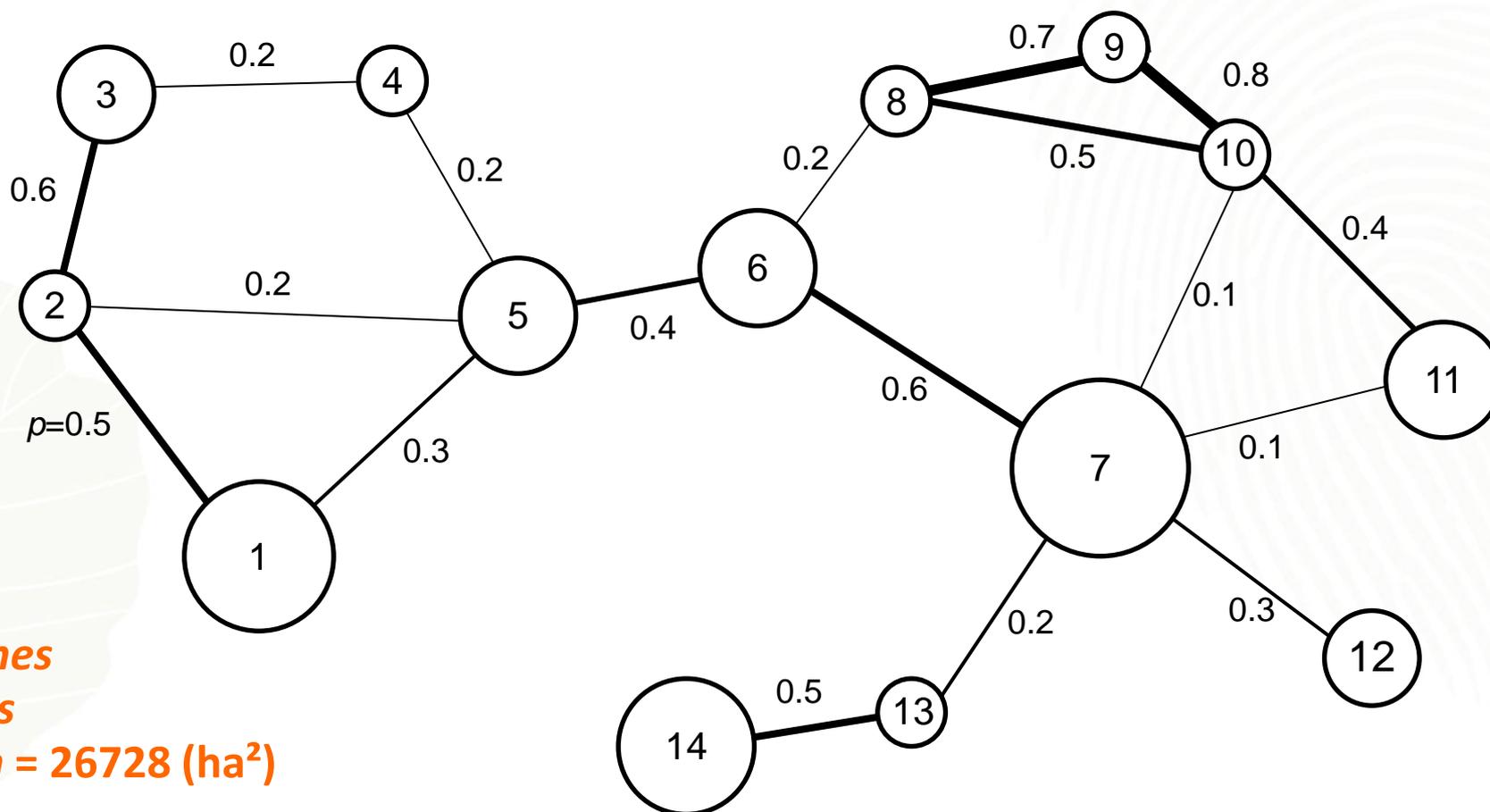
X_{avant} : valeur de l'indice avant perte (paysage intact)

$X_{après}$: valeur de l'indice après retrait de la tâche ou du lien

- Logiciels : *Conefor* (Saura et Torné, 2009)
Graphab (Foltête *et al.*, 2012)



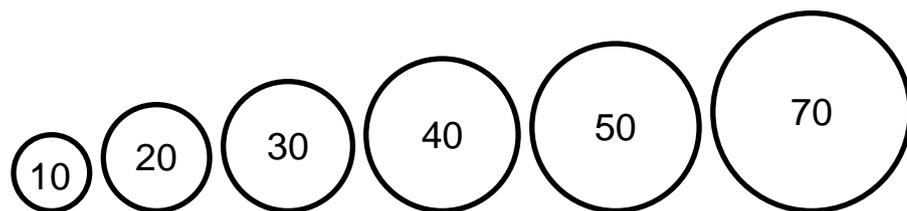
Réseau avant aménagement (référence)



14 taches

18 liens

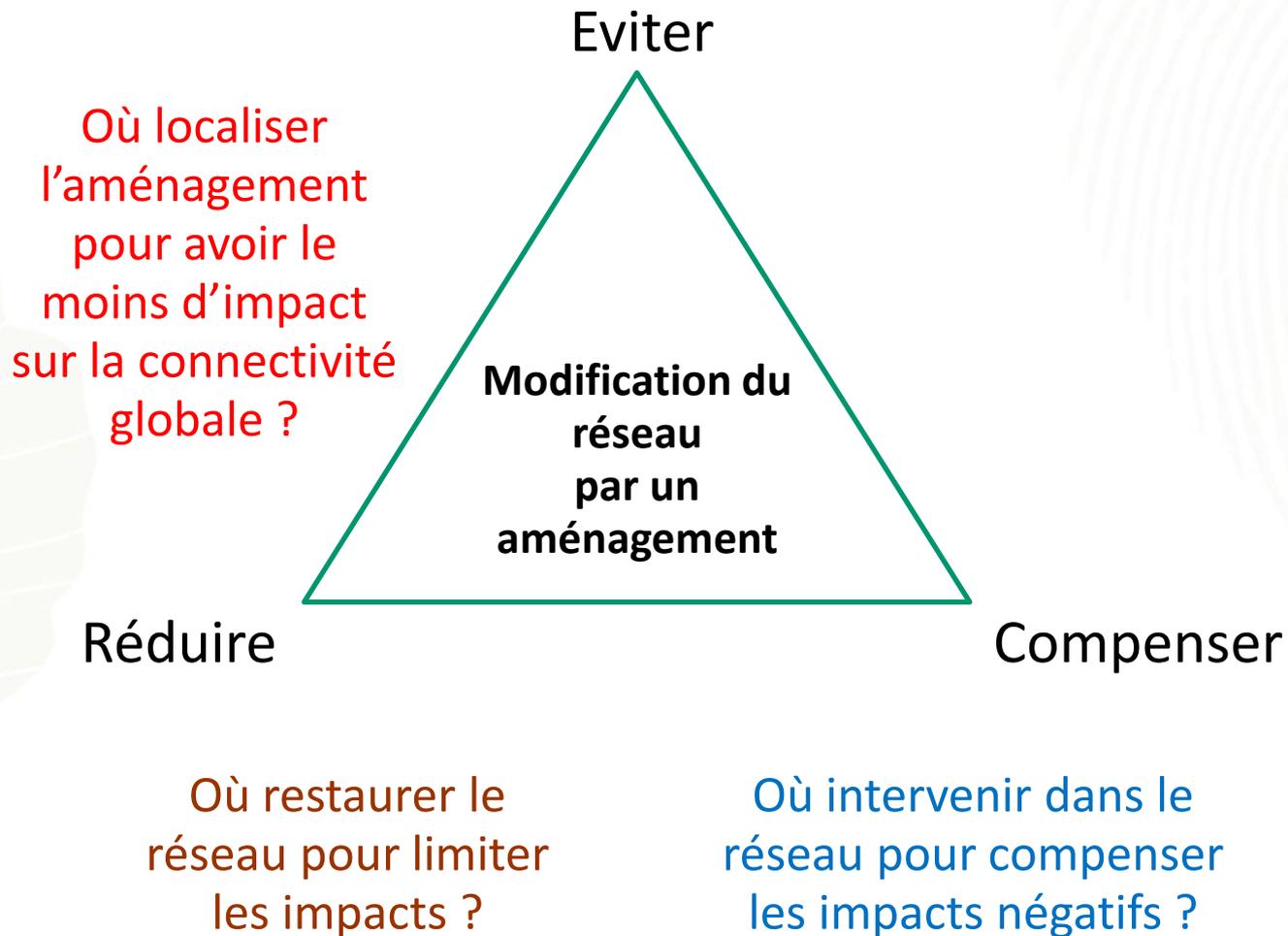
PCnum = 26728 (ha²)



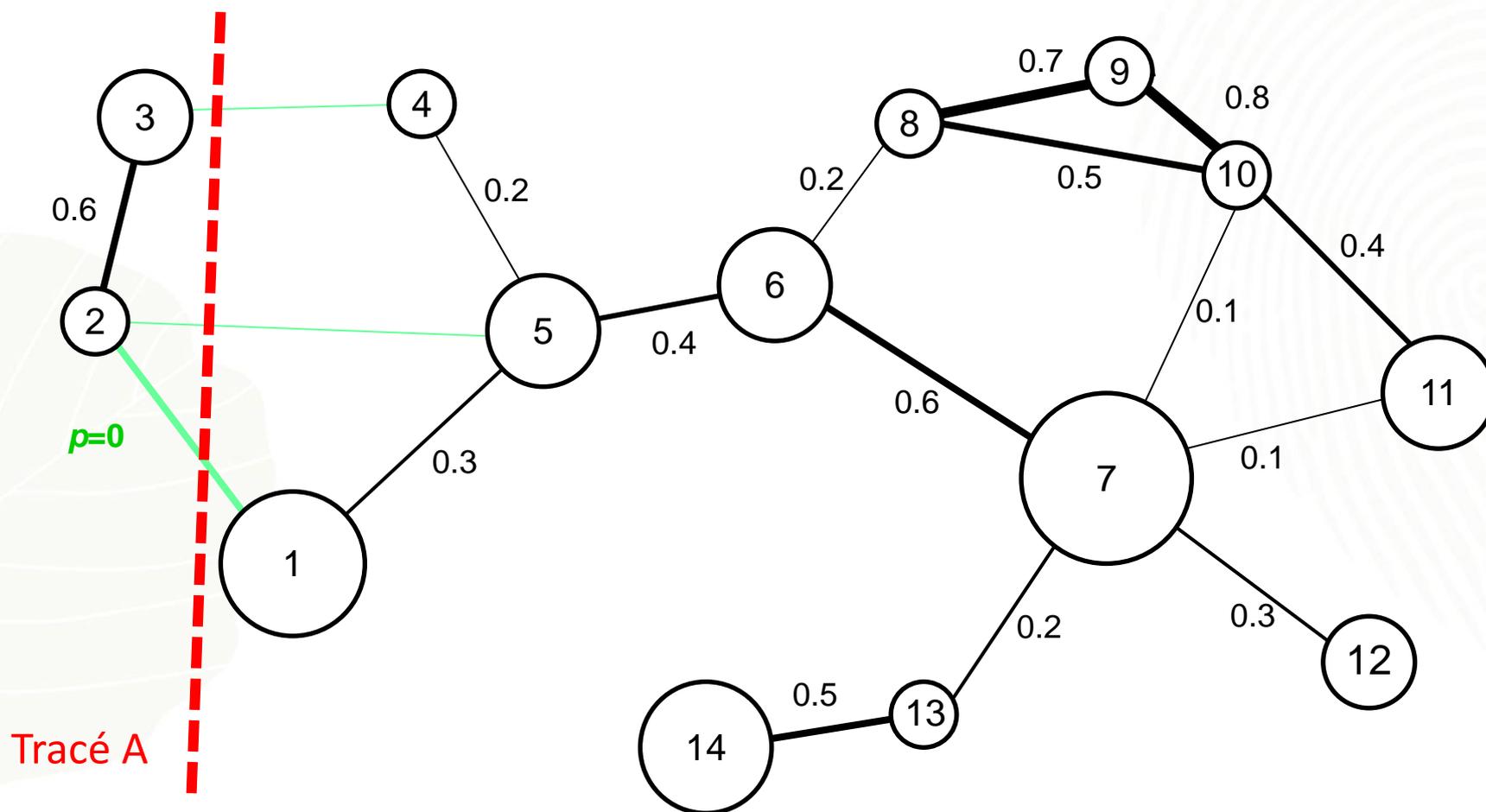
Surface des taches (ha)



Démarche d'analyse



Eviter/réduire : tracé d'ILT nord-sud

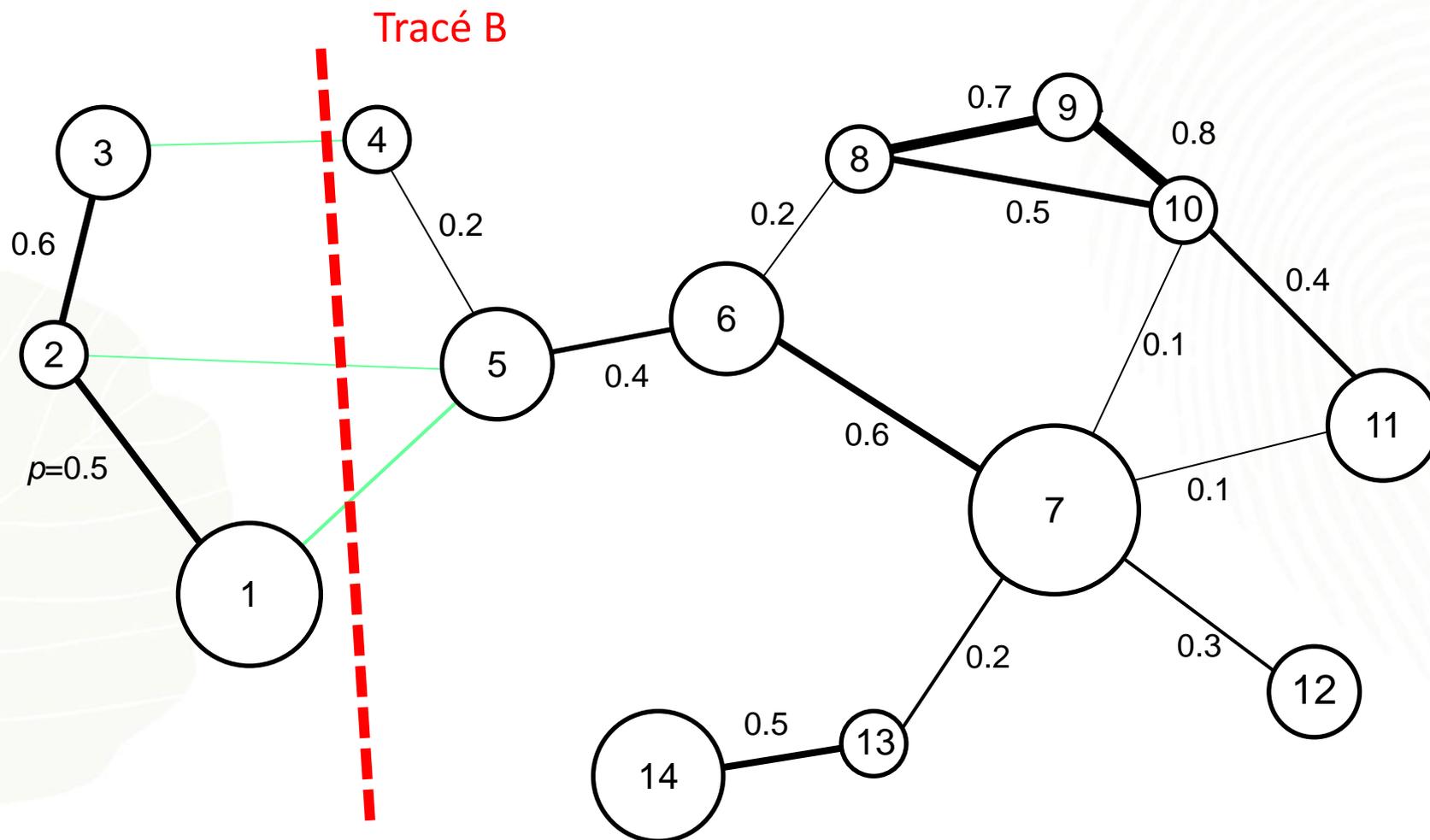


$PCnum = 24929 (-1799)$

$\Delta PCnum = -6,7\%$



Eviter/réduire : tracé d'ILT nord-sud

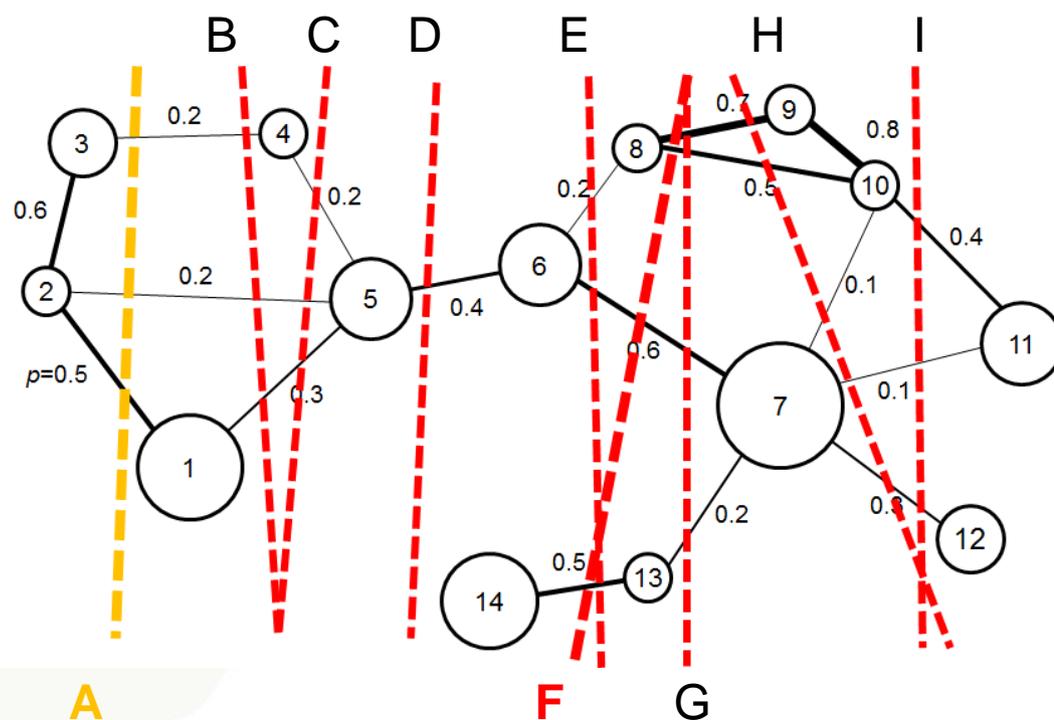


$PCnum = 24073 (-2655)$

$\Delta PCnum = -9.9\%$



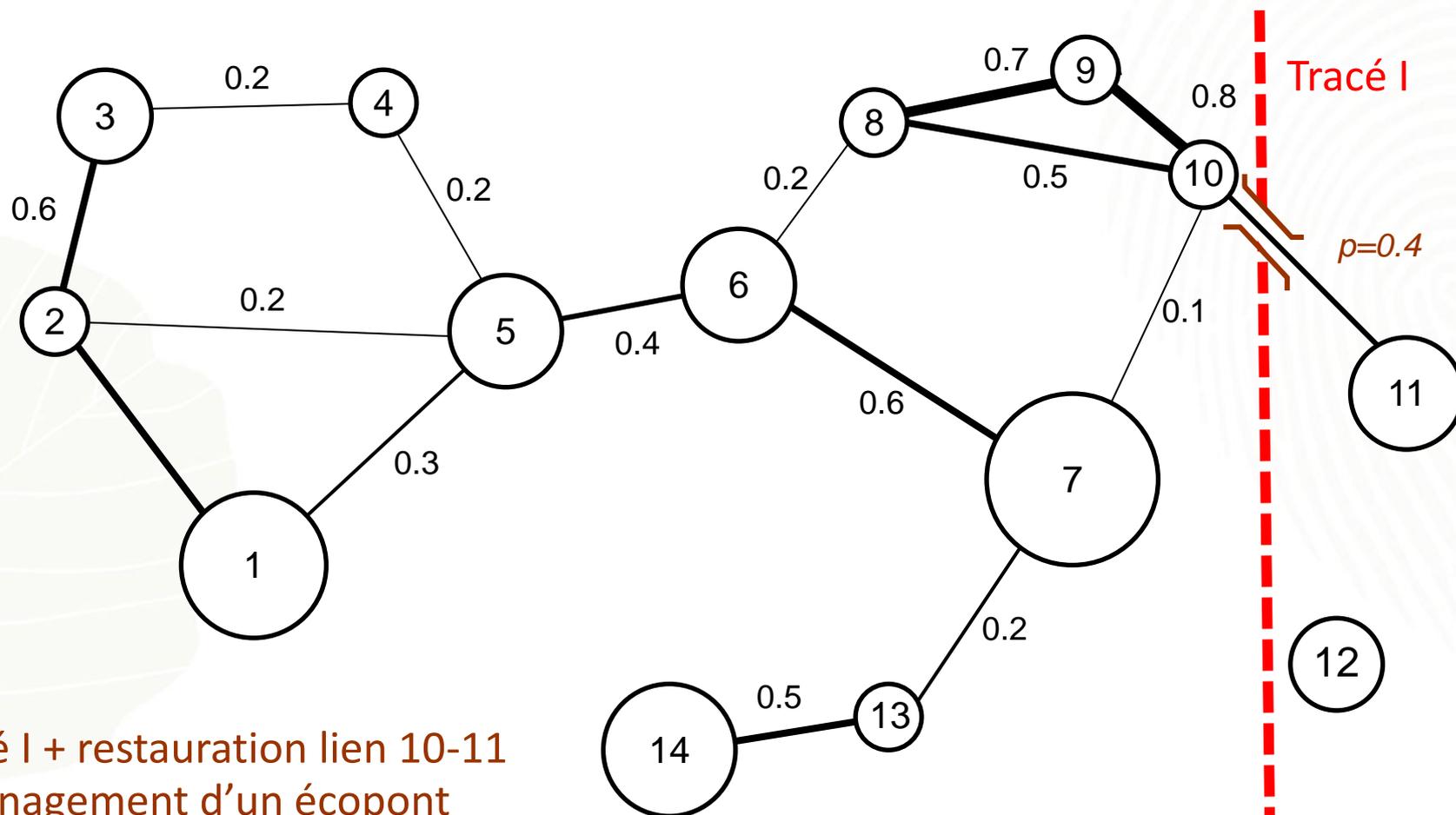
Choix du tracé le moins impactant



Tracé	ΔPC_{num}
A	-6.7%
B	-9.9%
C	-9.8%
D	-12.9%
E	-25.2%
F	-26,2%
G	-25,9%
H	-10,8%
I	-9,5%



Réduction de l'impact de l'ILT

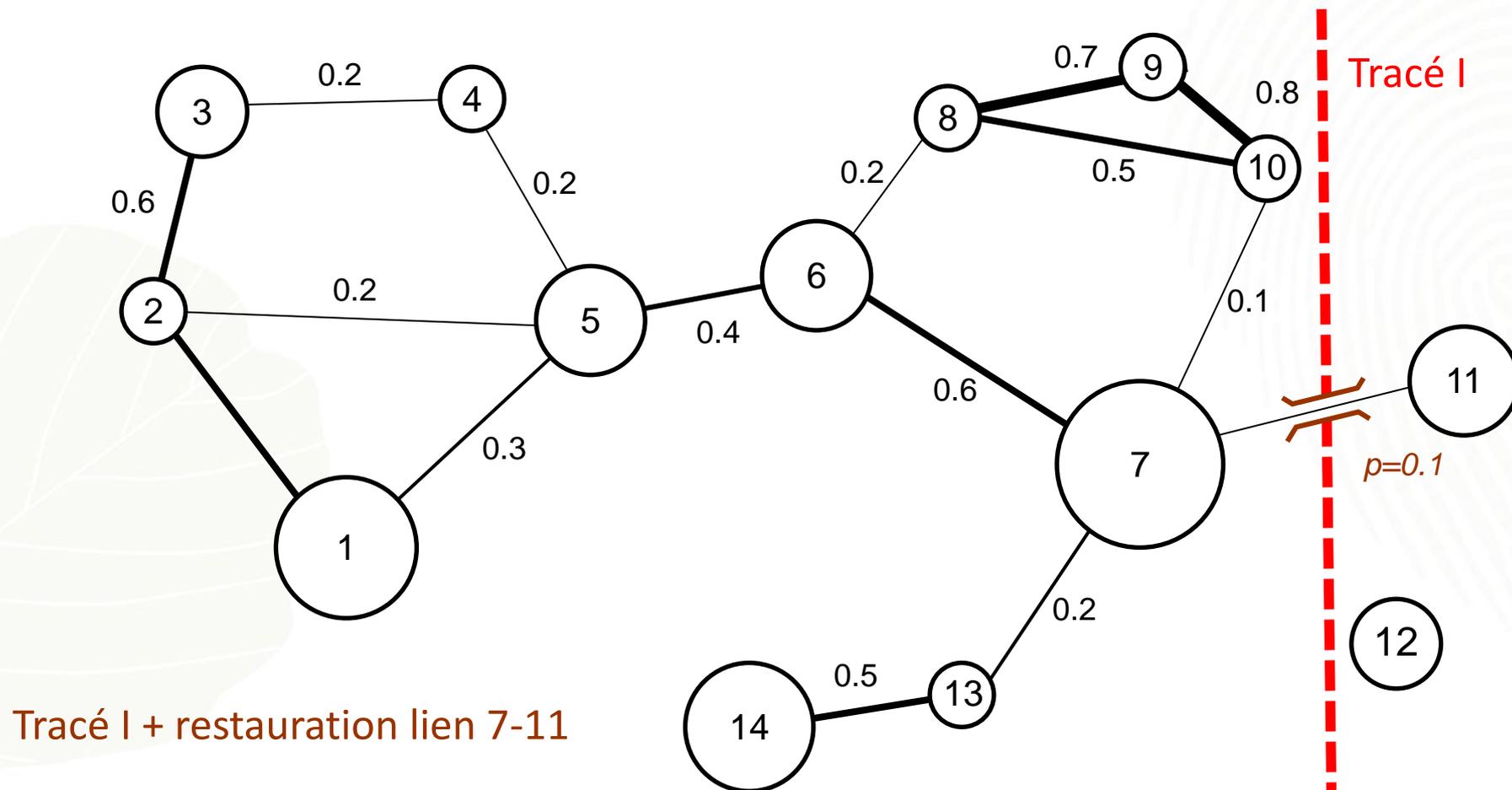


Tracé I + restauration lien 10-11
Aménagement d'un écopont

$PCnum = 25063 (+883)$
 $\Delta PCnum = + 3,6\%$



Réduction de l'impact de l'ILT

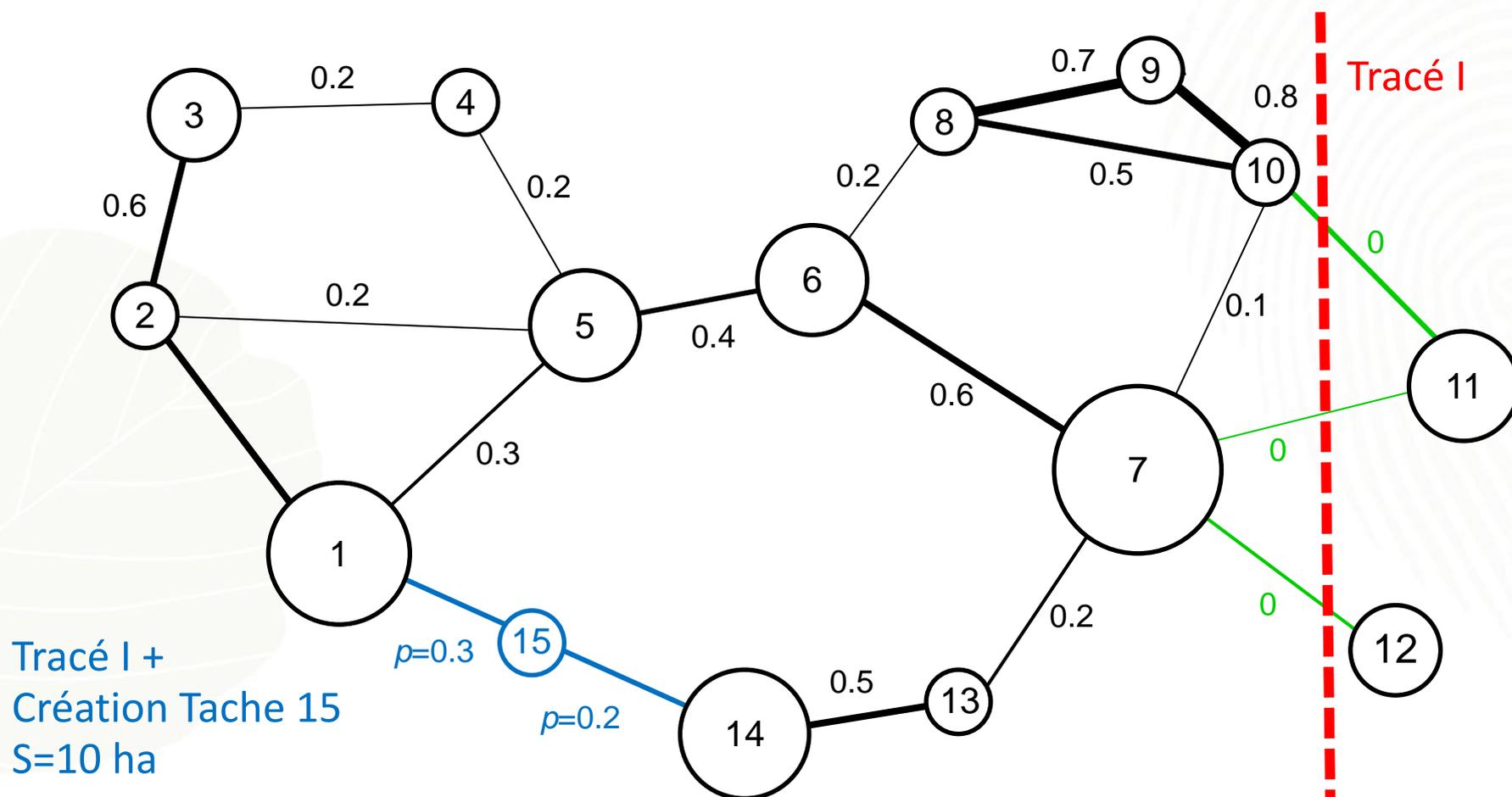


$PCnum = 24834 (+654)$

$\Delta PCnum = +2,7\%$



Compensation de l'impact de l'ILT



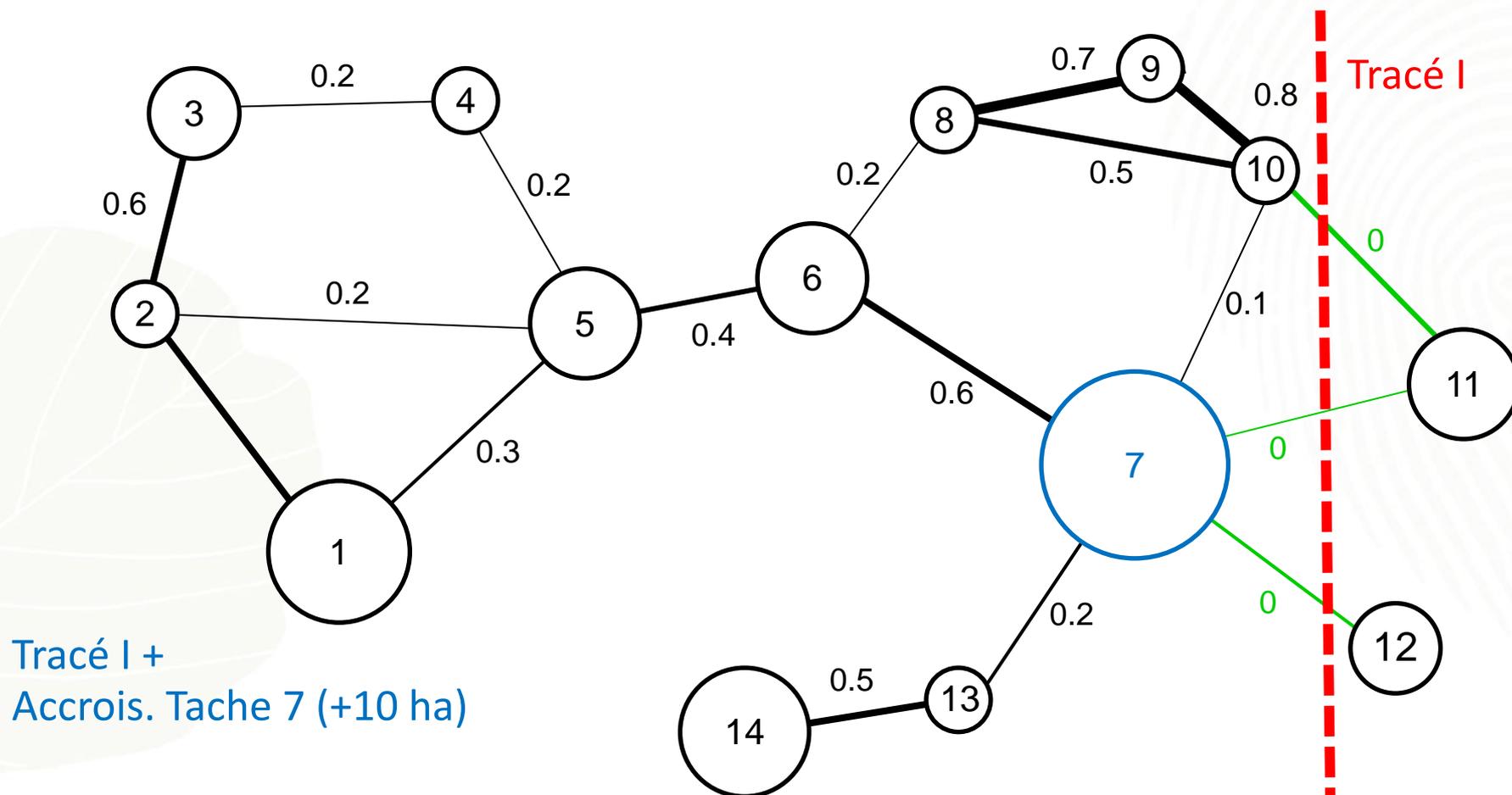
$PC_{num} = 25213$

Gain / tracé I = +1033

Perte / référence = -1515



Compensation de l'impact de l'ILT



Tracé I +
Accrois. Tache 7 (+10 ha)

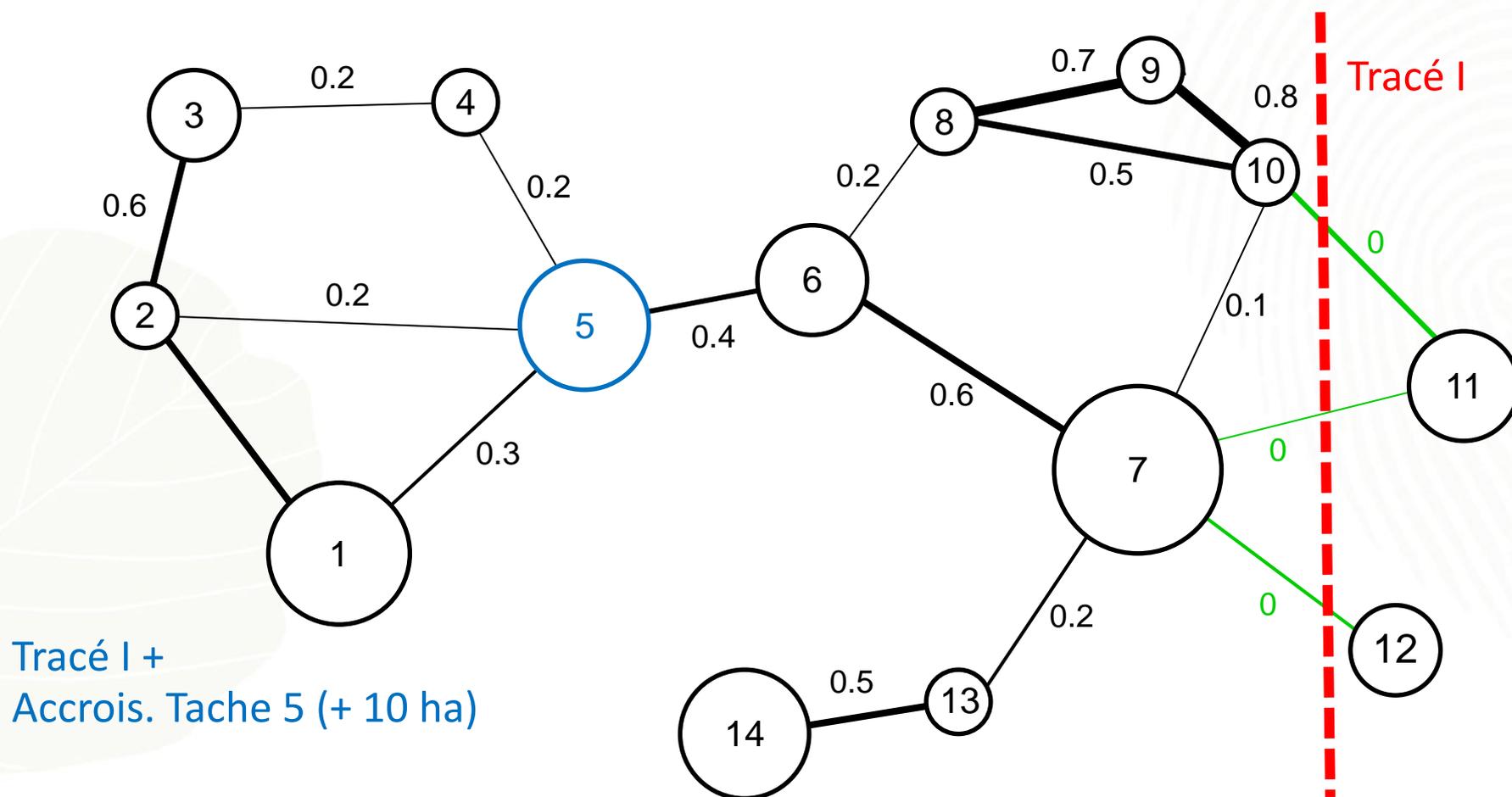
$PC_{num} = 26462$

Gain / tracé I = +2282

Perte / référence = -266



Compensation de l'impact de l'ILT



Tracé I +
Accrois. Tache 5 (+ 10 ha)

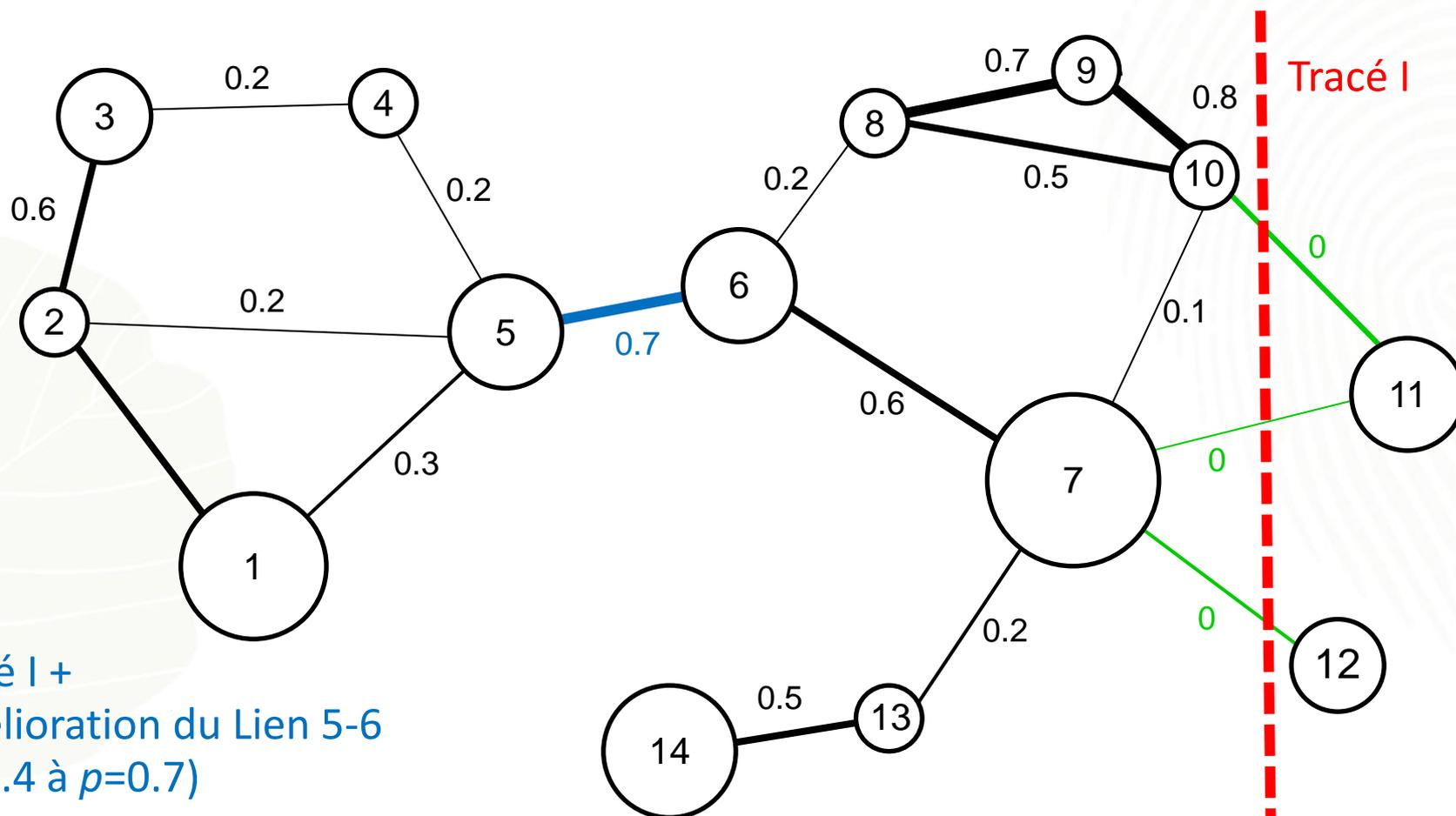
$PC_{num} = 25928$

Gain / tracé I = +1748

Perte / référence = -800



Compensation de l'impact de l'ILT



Tracé I +
Amélioration du Lien 5-6
($p=0.4$ à $p=0.7$)

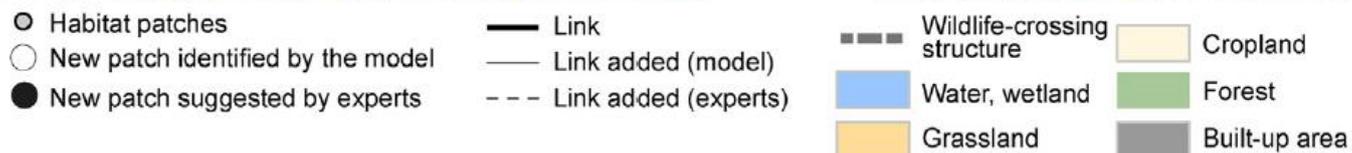
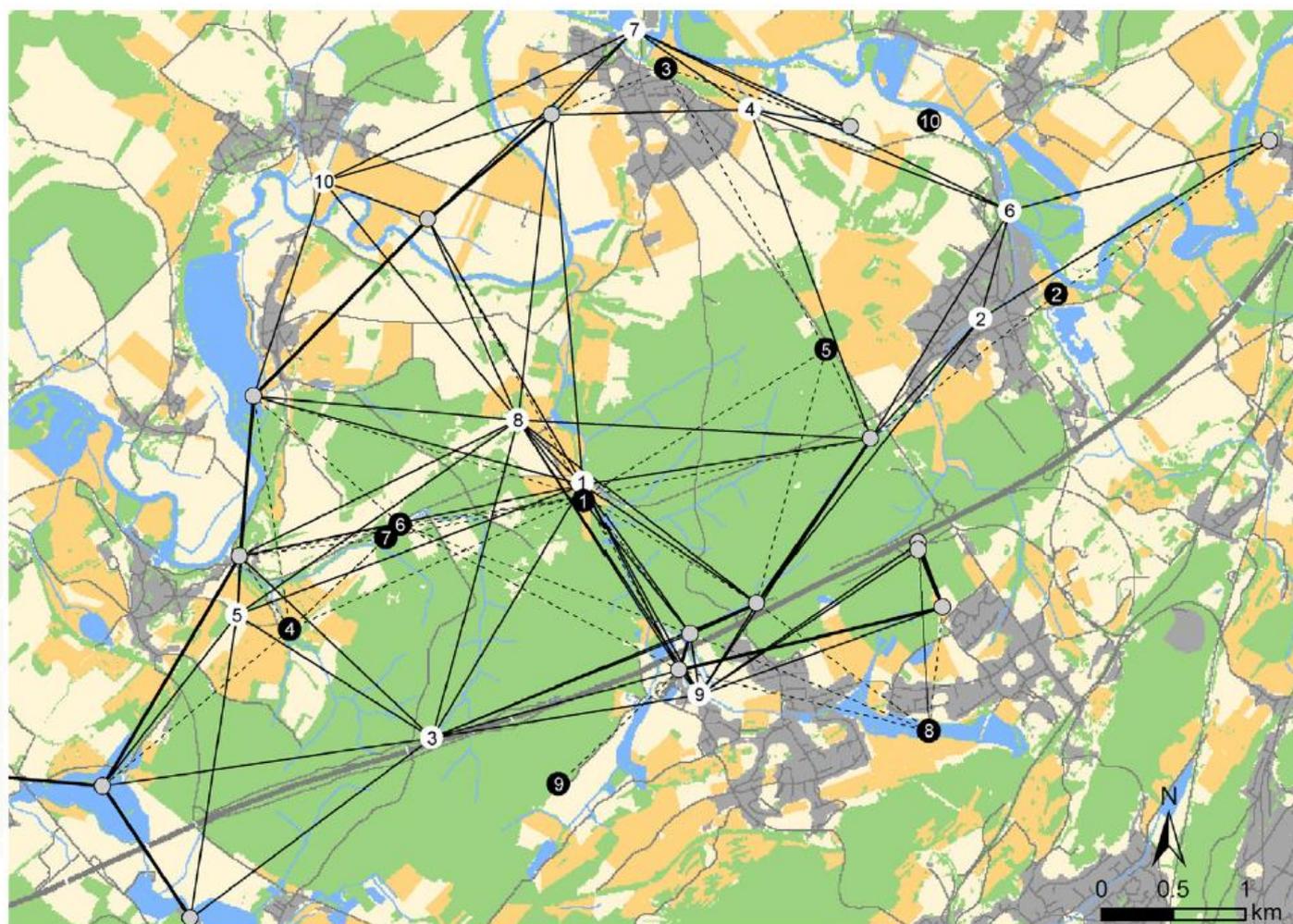
PCnum = 26602

Gain / tracé I = +2422

Perte / référence = -126



Exemple sur la rainette verte en Franche-Comté

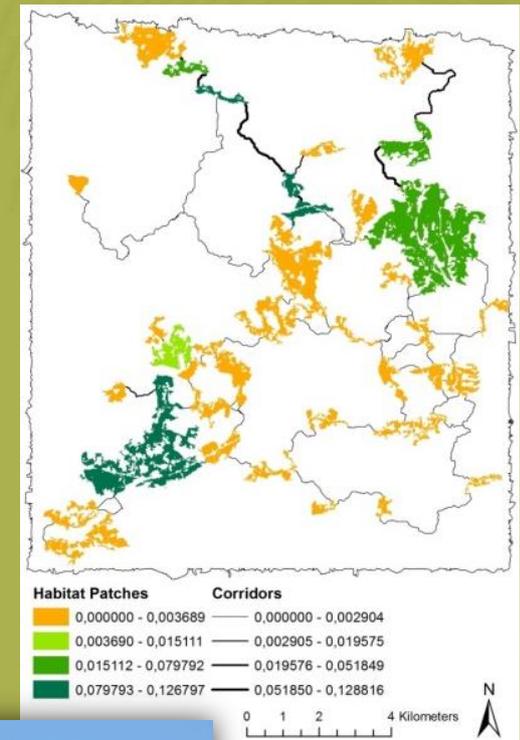


Clauzel *et al.* (2015)



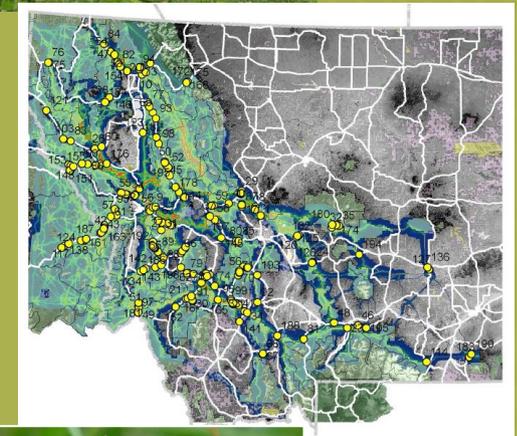
Apport pour la restauration et le génie écologique

- Outil d'aide à la décision
- Raisonner les impacts d'un futur aménagement et les compensations à l'échelle du paysage
- **Localiser** les taches et les corridors les plus importants du réseau d'habitat
- **Hiérarchiser** les actions de conservation ou de restauration et **quantifier** leur impact
- Comparer plusieurs choix de restauration selon une **métrique commune (PC)**
« *équivalence écologique* »



Limites et perspectives

- **Limites de l'approche :**
 - Paramètres **mal estimés** (dispersion...)
 - **Dynamique** du réseau à moyen terme et trajectoires historiques
- **Perspectives de développement :**
 - Approfondir l'approche **multi-espèce**
 - Prendre en compte les **coûts associés** aux solutions de réduction / compensation



Contact et Site Internet

www.irstea.fr

laurent.berges@irstea.fr