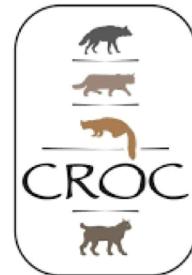


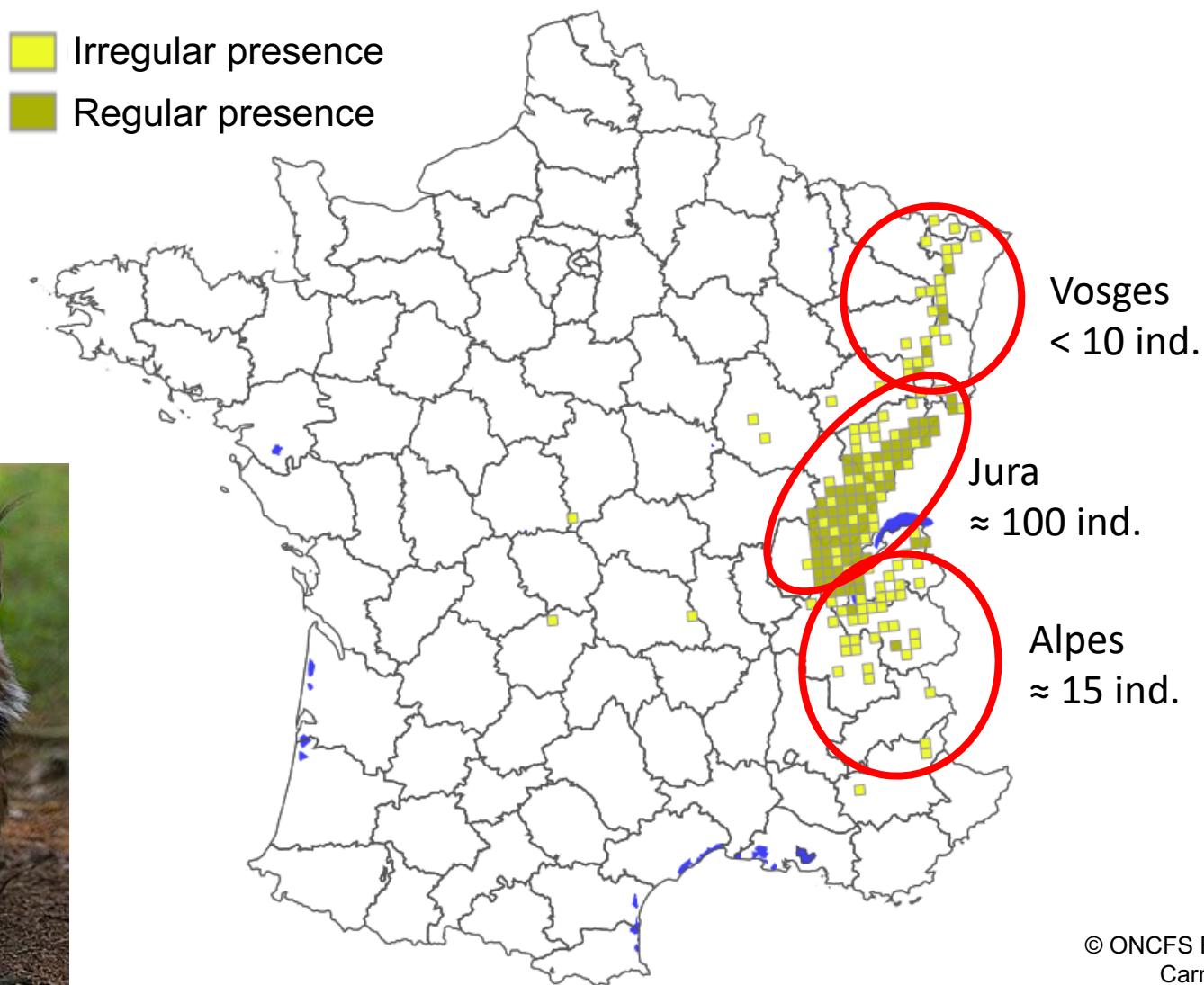
# Guiding decision-making to mitigate lynx-vehicle collisions using spatially-explicit individual-based models

**Sarah Bauduin, Anaïs Charbonnel, Luc Chrétien, Nolwenn Drouet-Hoguet,  
Christophe Duchamp, Estelle Germain, Alain Morand,  
and Olivier Gimenez**

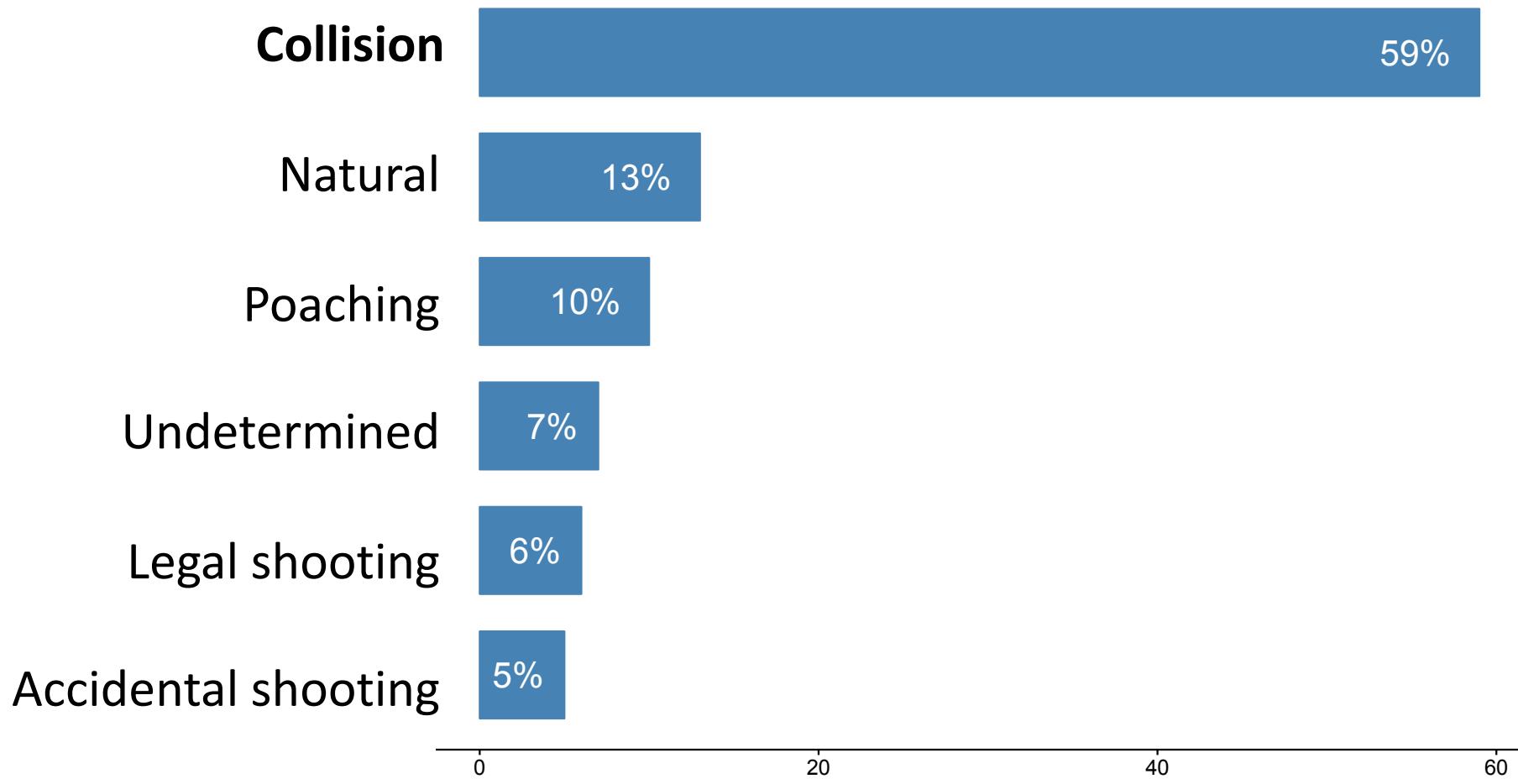


# The Eurasian lynx in France (2017)

(*Lynx lynx*)



# Mortality causes in France



# Goals

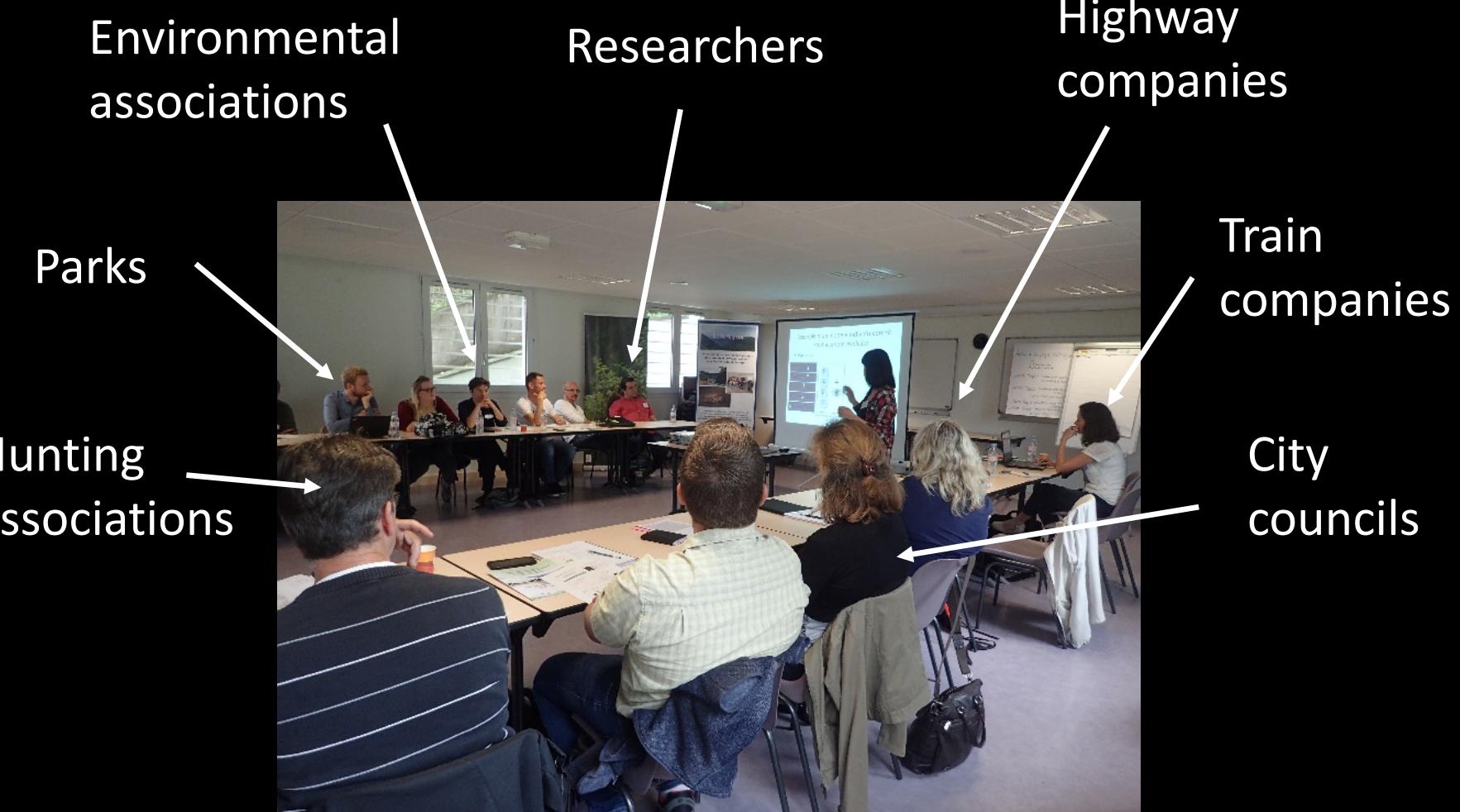
- Provide a tool to help decision-making to reduce lynx collisions

– Build a model:  
Lynx viability ~ transport infrastructure

– Develop a user-friendly interface

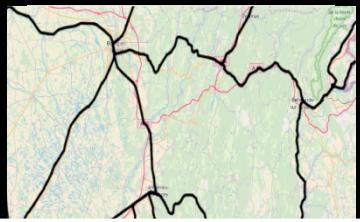


# Co-construction



# Lynx model

Transport infra.



Land cover



Current lynx pop.



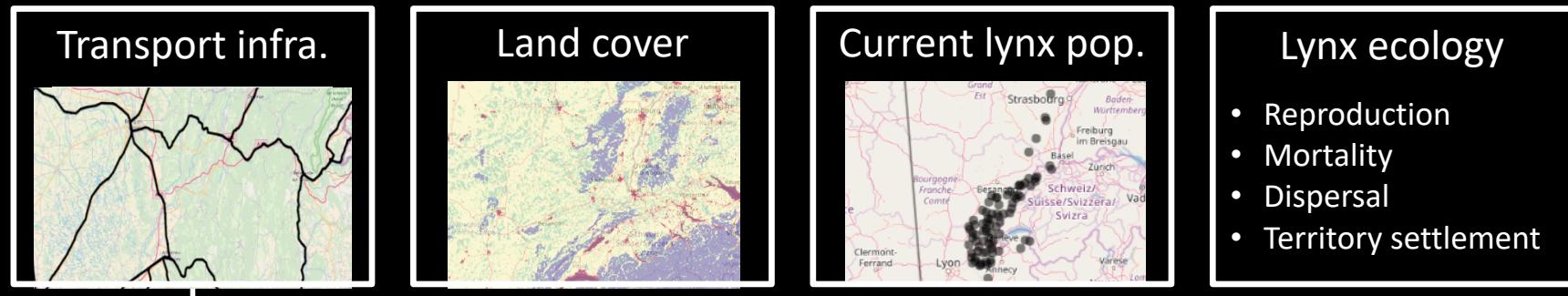
Lynx ecology

- Reproduction
- Mortality
- Dispersal
- Territory settlement

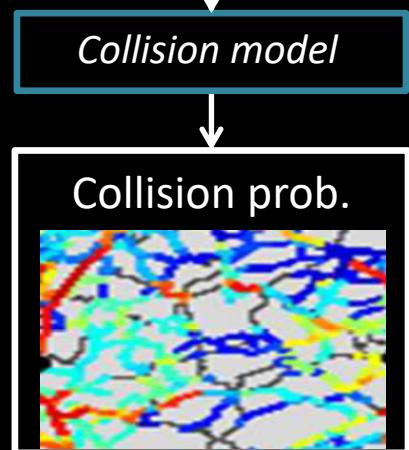
Kramer-Schadt et al.  
(2004, 2005, 2011)

Lynx viability

# Lynx model

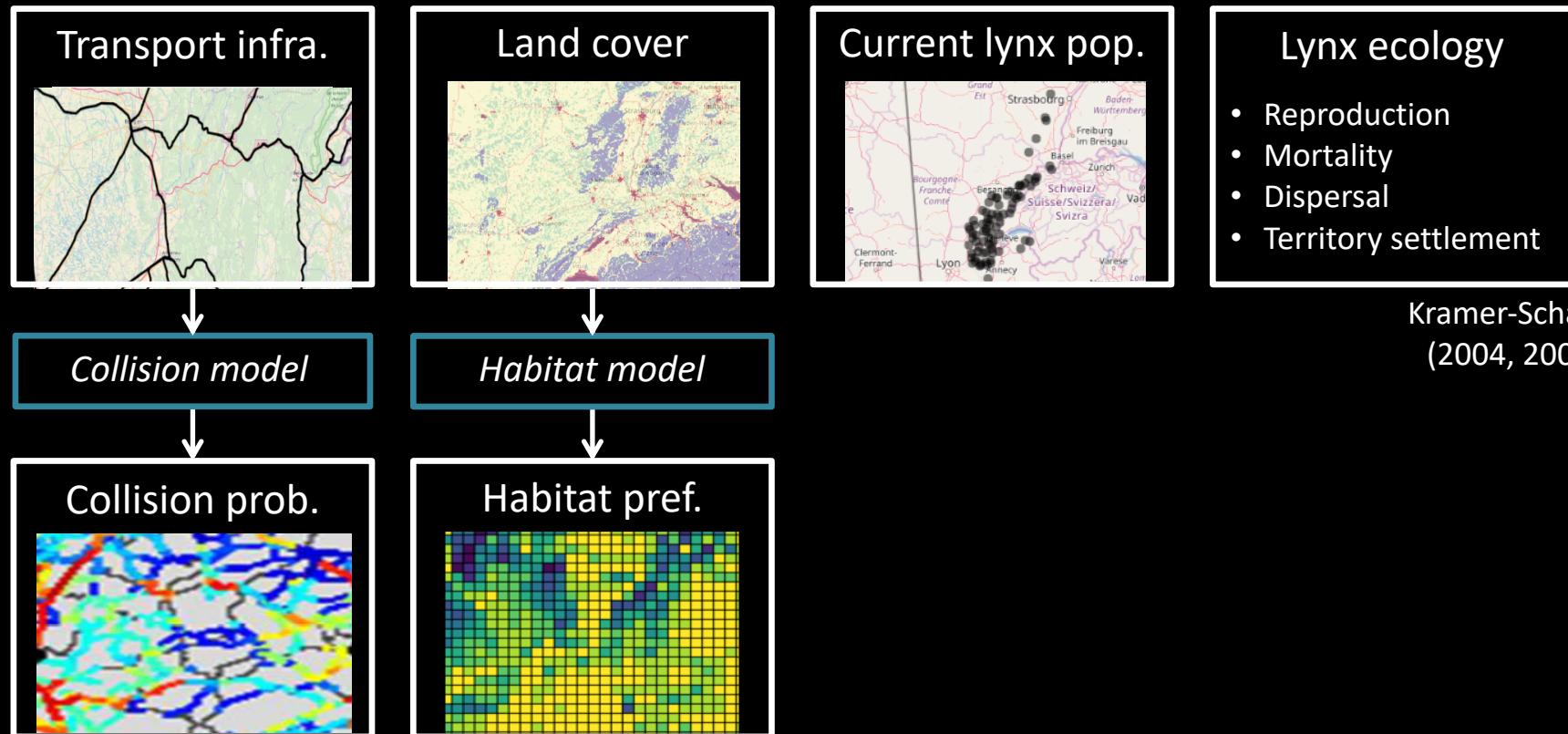


Kramer-Schadt et al.  
(2004, 2005, 2011)

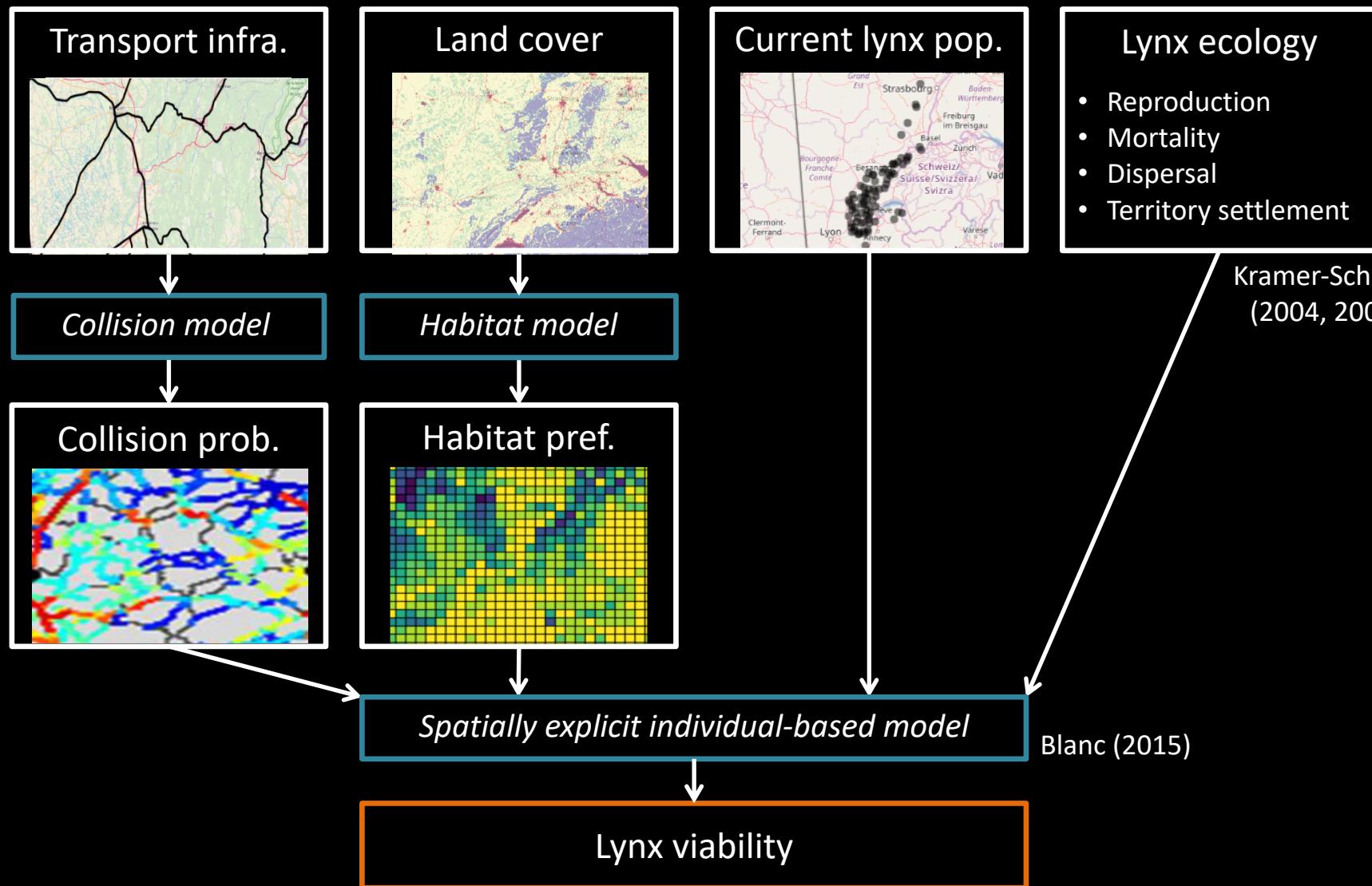


Lynx viability

# Lynx model



# Lynx model



# Lynx model

- Spatially explicit individual-based model (SE-IBM)

# Lynx model

- Spatially explicit individual-based model (SE-IBM)
- IBM = Simulation model
  - Rules at the individual level
  - Outputs at the population level
- Bottom-up

# Lynx model

- Spatially explicit individual-based model (SE-IBM)
- IBM = Simulation model
  - Rules at the individual level
  - Outputs at the population level
- Bottom-up
- Highly mechanistic
  - Understanding of the processes
  - Used to make predictions

# Lynx model

- Spatially explicit individual-based model (SE-IBM)
- IBM = Simulation model
  - Rules at the individual level
  - Outputs at the population level
- Bottom-up
- Highly mechanistic
  - Understanding of the processes
  - Used to make predictions
- SE-IBM = Influence of the environment on the decisions made by the individuals

# Lynx model

- Lynx SE-IBM written on R with NetLogoR
- Package to create and run SE-IBM on R
- Translation of NetLogo 
  - Does not call the software!
- Provides classes
  - Landscape
  - Moving individuals
- And functions
  - Movement
  - Landscape interaction
  - Population dynamics
  - ...

# NetLogoR

- Available on CRAN

ECOGRAPHY

A JOURNAL OF SPACE  
AND TIME IN ECOLOGY

Research |  Full Access |

## NetLogoR: A package to build and run spatially explicit agent-based models in R

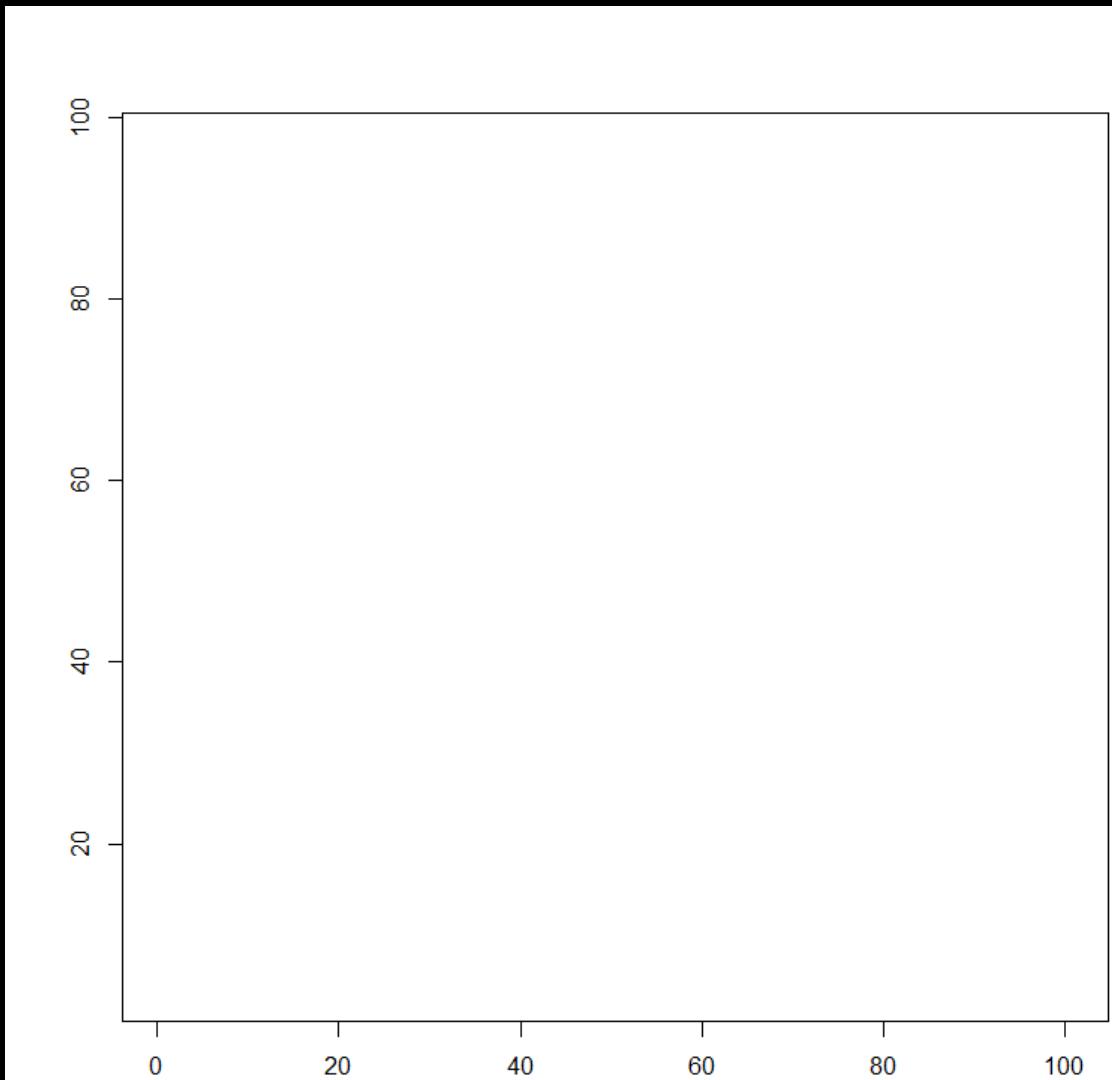
Sarah Bauduin , Eliot J.B. McIntire, Alex M. Chubaty

First published: 10 August 2019 | <https://doi.org/10.1111/ecog.04516>

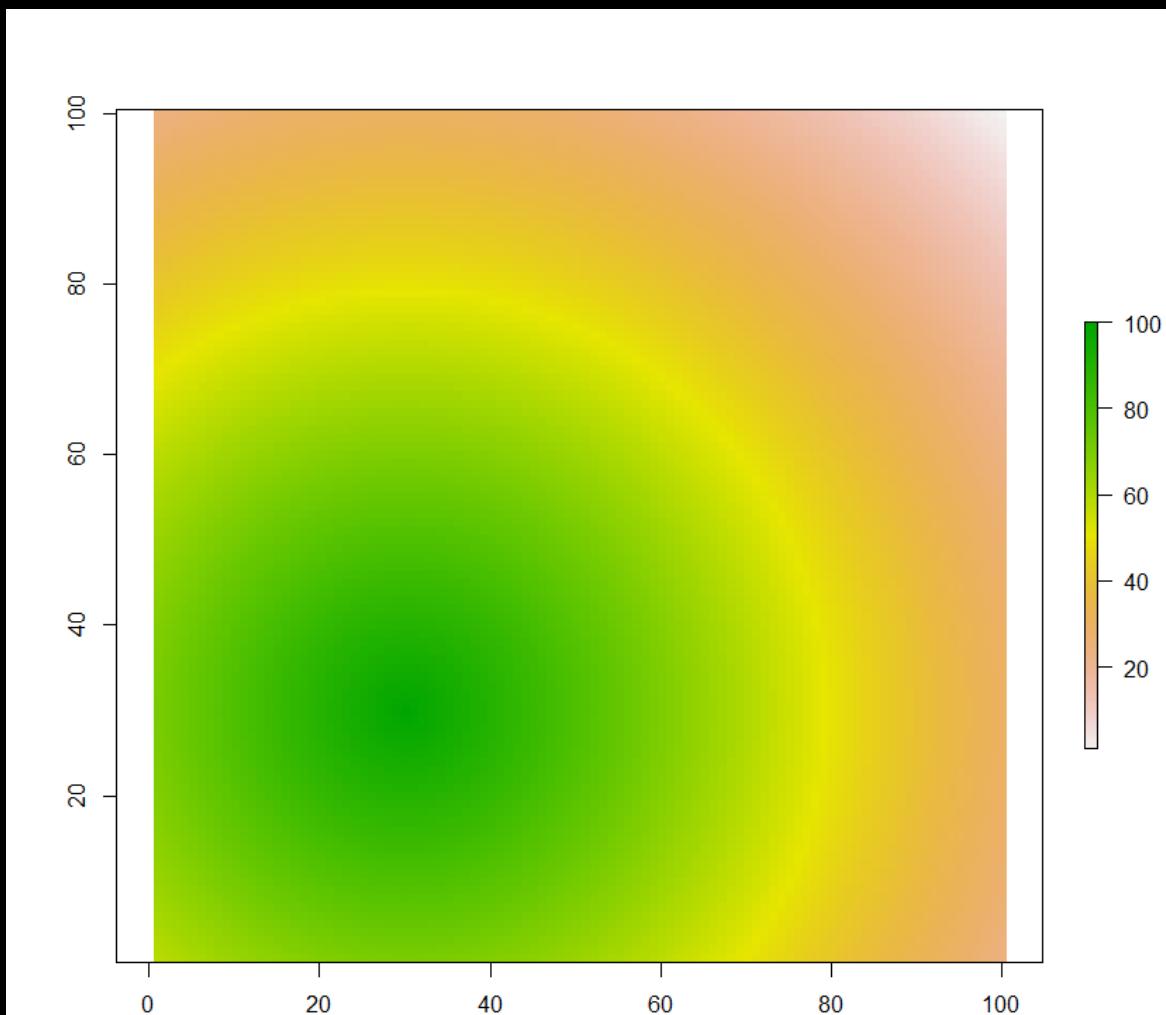
# NetLogoR

- Model example: Butterfly hilltopping
- 3 butterflies moving uphill on a gridded landscape with a hill, one cell at the time
  - $p = 0.5$ , move uphill
    - move to their neighboring cell with the highest elevation value
  - $p = 0.5$ , move randomly
    - move to one of their neighboring cells without preference

```
hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,  
maxPycor = 100)
```



```
hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,  
                    maxPycor = 100)  
elevation <- 100 - NLdist(agents = patches(hill),  
                           agents2 = cbind(x = 30, y = 30))  
hill <- NLset(world = hill, agents = patches(hill), val = elevation)  
plot(hill)
```



```

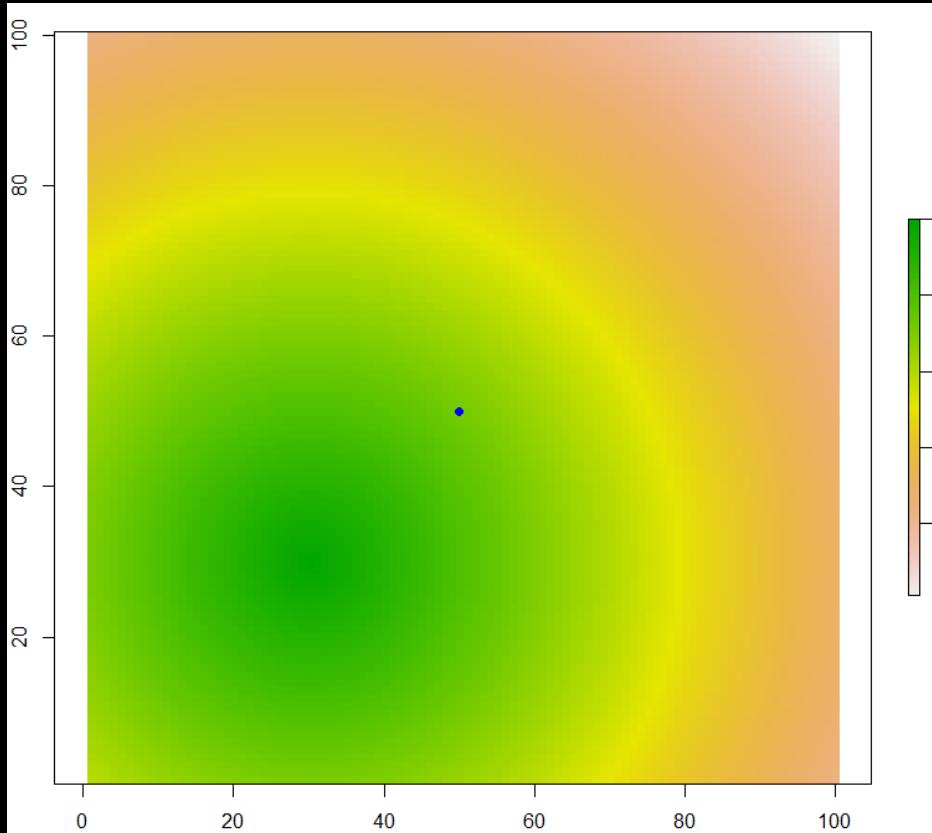
hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,
                     maxPycor = 100)
elevation <- 100 - NLdist(agents = patches(hill),
                           agents2 = cbind(x = 30, y = 30))
hill <- NLset(world = hill, agents = patches(hill), val = elevation)
plot(hill)

```

```

b3 <- createTurtles(n = 3, coords = cbind(xcor = 50, ycor = 50))
points(b3, pch = 16, col = of(agents = b3, var = "color"))

```



```
hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,  
                     maxPycor = 100)  
elevation <- 100 - NLdist(agents = patches(hill),  
                           agents2 = cbind(x = 30, y = 30))  
hill <- NLset(world = hill, agents = patches(hill), val = elevation)  
plot(hill)  
  
b3 <- createTurtles(n = 3, coords = cbind(xcor = 50, ycor = 50))  
points(b3, pch = 16, col = of(agents = b3, var = "color"))  
  
b3 <- uphill(world = hill, turtles = b3, nNeighbors = 8)
```

```
hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,  
                     maxPycor = 100)  
elevation <- 100 - NLdist(agents = patches(hill),  
                           agents2 = cbind(x = 30, y = 30))  
hill <- NLset(world = hill, agents = patches(hill), val = elevation)  
plot(hill)  
  
b3 <- createTurtles(n = 3, coords = cbind(xcor = 50, ycor = 50))  
points(b3, pch = 16, col = of(agents = b3, var = "color"))  
  
b3 <- uphill(world = hill, turtles = b3, nNeighbors = 8)  
  
allNeighbors <- neighbors(world = hill, agents = b3, nNeighbors = 8)  
oneNeighbor <- oneOf(allNeighbors)  
b3 <- moveTo(turtles = b3,  
              agents = oneNeighbor)
```

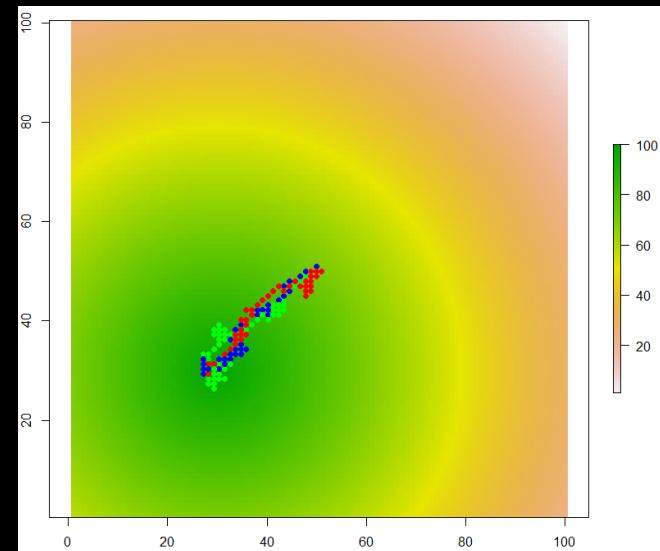
```

hill <- createWorld(minPxcor = 1, maxPxcor = 100, minPycor = 1,
                     maxPycor = 100)
elevation <- 100 - NLdist(agents = patches(hill),
                           agents2 = cbind(x = 30, y = 30))
hill <- NLset(world = hill, agents = patches(hill), val = elevation)
plot(hill)

b3 <- createTurtles(n = 3, coords = cbind(xcor = 50, ycor = 50))
points(b3, pch = 16, col = of(agents = b3, var = "color"))

for (time in 1:100) {
  if (runif(n = 1, min = 0, max = 1) < 0.5) {
    b3 <- uphill(world = hill, turtles = b3, nNeighbors = 8)
  } else {
    allNeighbors <- neighbors(world = hill, agents = b3, nNeighbors = 8)
    oneNeighbor <- oneOf(allNeighbors)
    b3 <- moveTo(turtles = b3,
                  agents = oneNeighbor)
  }
  points(b3, pch = 16,
         col = of(agents = b3,
                  var = "color"))
}

```



# NetLogoR

- Benefits from NetLogo
  - Efficient framework
  - Easy and fast learning
- Benefits to be on R
  - Reduce mental switching cost
  - Can use multiple classes
  - Access to lots of packages and functions
- Future developments
  - Increase simulation speed
  - Model parameter estimation

# Model interface

- User-friendly interface
- Test management scenarios
  - Create management actions
    - Adding a new road segment
    - Adding a road overpass
    - Removing a road segment
    - Modifying the landscape cover
    - ...
  - Test the impact on the lynx populations
- Co-constructed and tested with local stakeholders
- Written on R with Shiny

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)

## Testez l'effet d'aménagements du réseau routier sur les risques de collisions entre lynx et véhicules de transport.

Le réseau routier impacte la survie du lynx par le biais de collisions fatales avec les véhicules de transport. Vous pouvez modifier la présence et le type de segment routier dans le paysage dans l'onglet **Réseau routier actuel** pour créer un scénario d'aménagement du réseau routier et visualiser les changements effectués dans l'onglet **Réseau routier modifié**. Ensuite, vous pouvez générer les nouvelles probabilités de collisions entre lynx et véhicules, incluant ces modifications, dans l'onglet **Risque de collisions** qui seront estimées à l'aide du modèle de collisions lynx-véhicules.

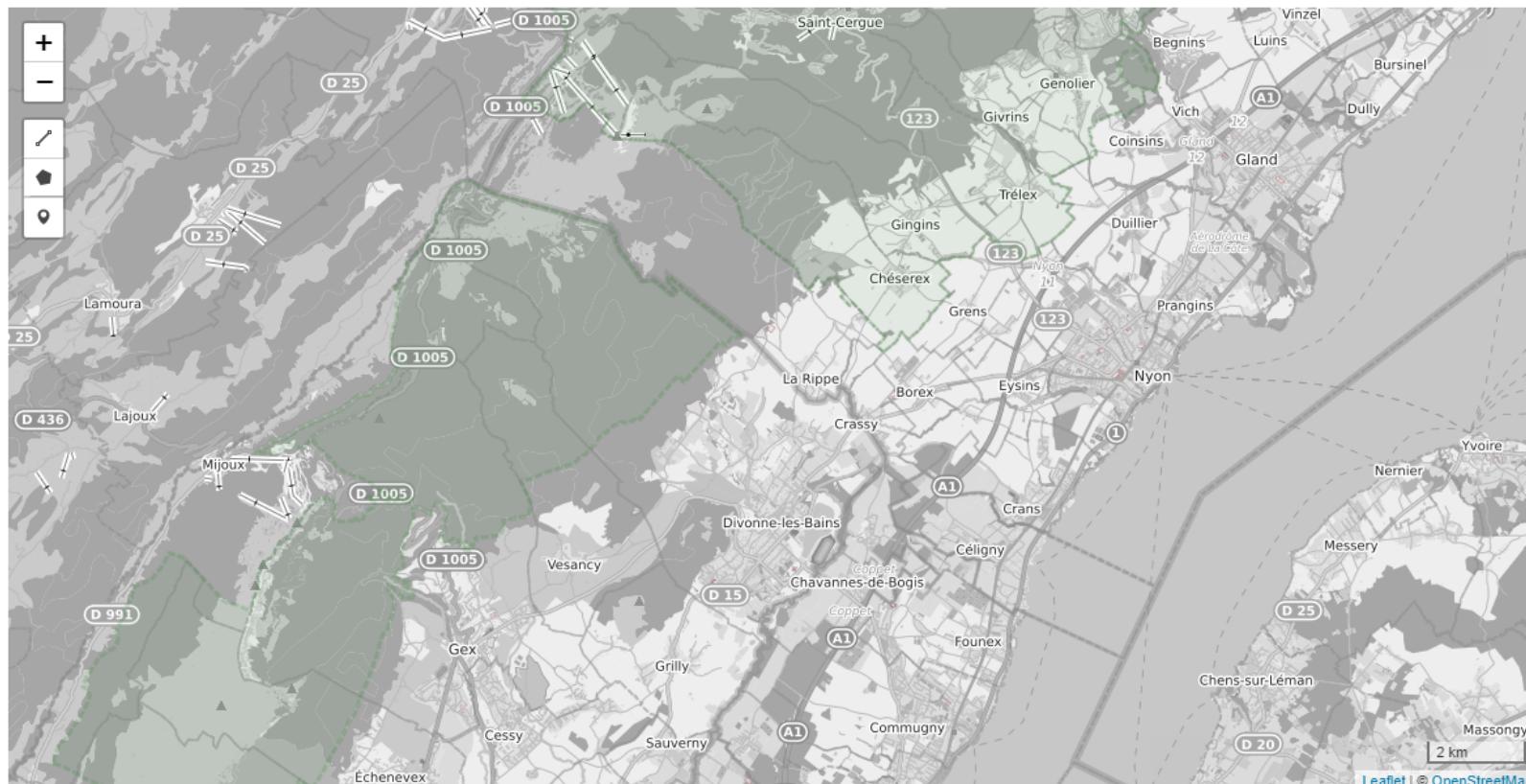
### Modèle de collisions lynx-Véhicules

Visitin et al. (2017) considèrent le volume du trafic et sa vitesse comme importants pour expliquer les risques de collisions entre animaux et véhicules de transport. Malheureusement, dû à l'impossibilité d'obtenir ces mesures sur toute notre zone d'étude, nous avons utiliser les proxys proposés par Visitin et al. (2017) pour représenter ces deux composantes: **la distance aux zones urbaines, la distance aux autoroutes, la densité de population, le type de segments routiers présents ainsi que leurs tailles**. Ces éléments sont disponibles pour notre zone d'étude et sont utilisés dans un modèle de régression logistique débiaisé pour prédire le **risque de collisions entre lynx et véhicules** sur notre aire d'étude.

Dû à un manque de données, les collisions entre lynx et trains n'ont pas pu être inclus dans le modèle. Le réseau ferroviaire n'est donc pas disponibles pour modifications dans l'interface et son impact sur la population de lynx ne peut pas être testé. L'impact des passages à faune n'est pas explicitement inclus dans le modèle de collisions lynx-véhicules dû au manque de données de leurs localisations dans notre aire d'étude. Il est néanmoins possible sur cette interface de tester leurs impacts avec une solution alternative. Lors de la création d'un passage à faune via cette interface, les segments routiers 500m de part et d'autre du point de création du passage à faune seront supprimés. L'effet du passage à faune ainsi que des clôtures qui l'entourent peuvent raisonnablement réduire la probabilité de collision pour un lynx sur une telle distance sur le segment routier impacté. La probabilité de collision de la cellule (1 x 1 km) incluant le passage à faune créé sera recalculé sans le tronçon routier impacté mais toujours en incluant les potentiels autres segments routiers. La probabilité de collision finale de la cellule ne sera donc pas forcément égale à 0 mais sera fortement réduite.

### Références

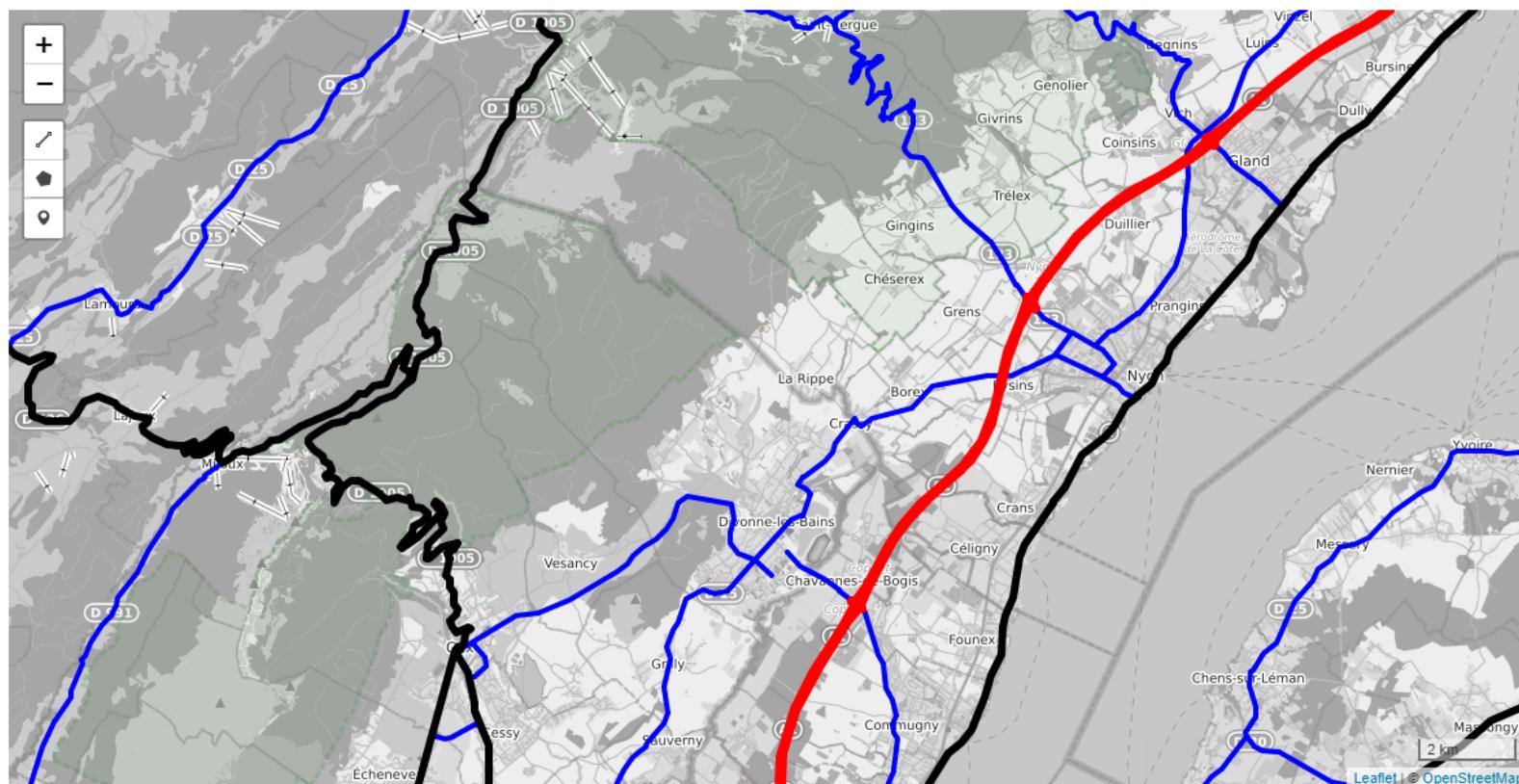
- Visintin, C., Ree, R., McCarthy, M. A. 2016. A simple framework for a complex problem? Predicting wildlife–vehicle collisions. *Ecology and Evolution* 6, 6409–6421

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:

- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales (nombreuses, lentes à afficher)
- Communes

[Mettre à jour la carte](#)

Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés.

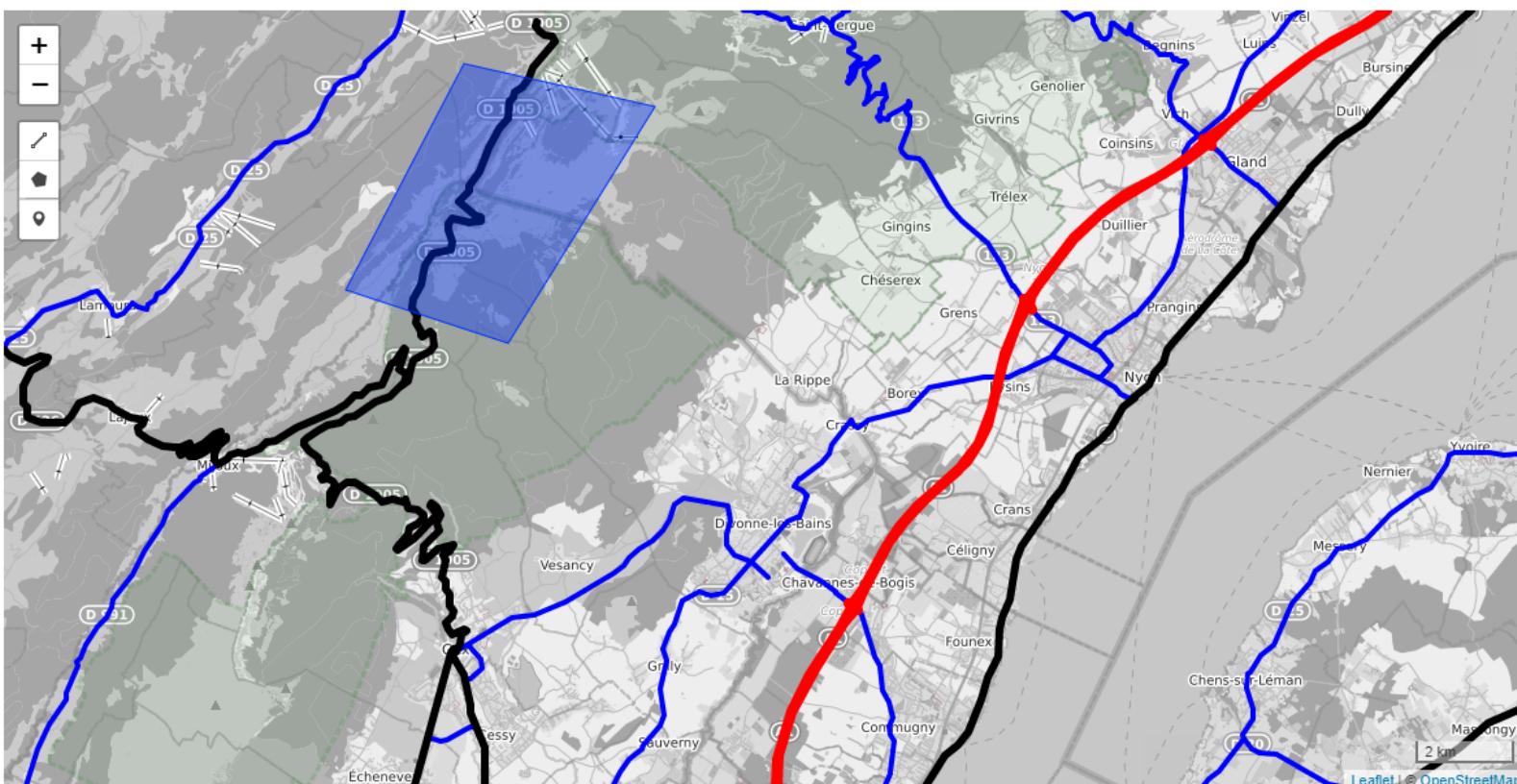
[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)Légende:

- Autoroutes (Red line)
- Routes principales (Black line)
- Routes secondaires (Blue line)
- Routes locales (Orange line)

Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:[Mettre à jour la carte](#)

Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés.

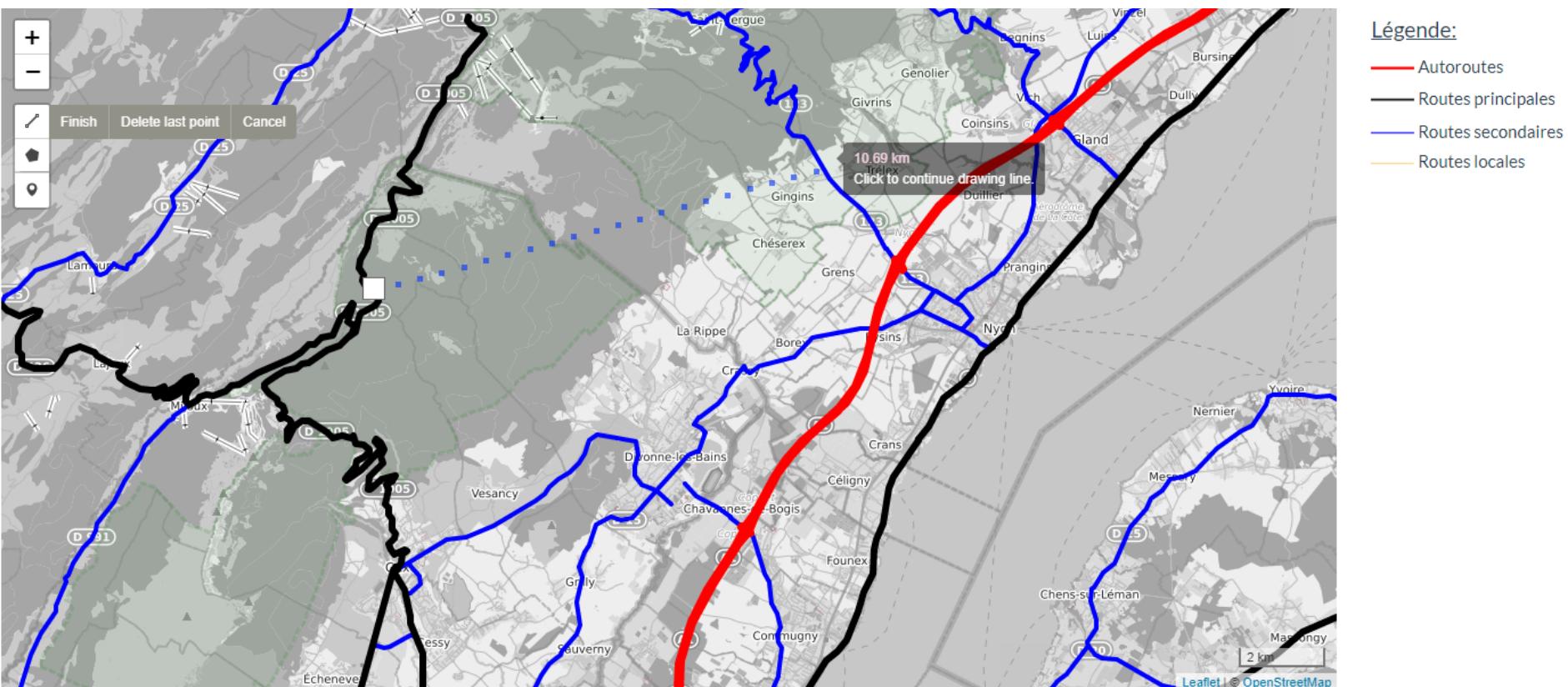
- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales (nombreuses, lentes à afficher)
- Communes

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:

- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales (nombreuses, lentes à afficher)
- Communes

[Mettre à jour la carte](#)

Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés.

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)

Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:

- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales (nombreuses, lentes à afficher)
- Communes

Mettre à jour la carte

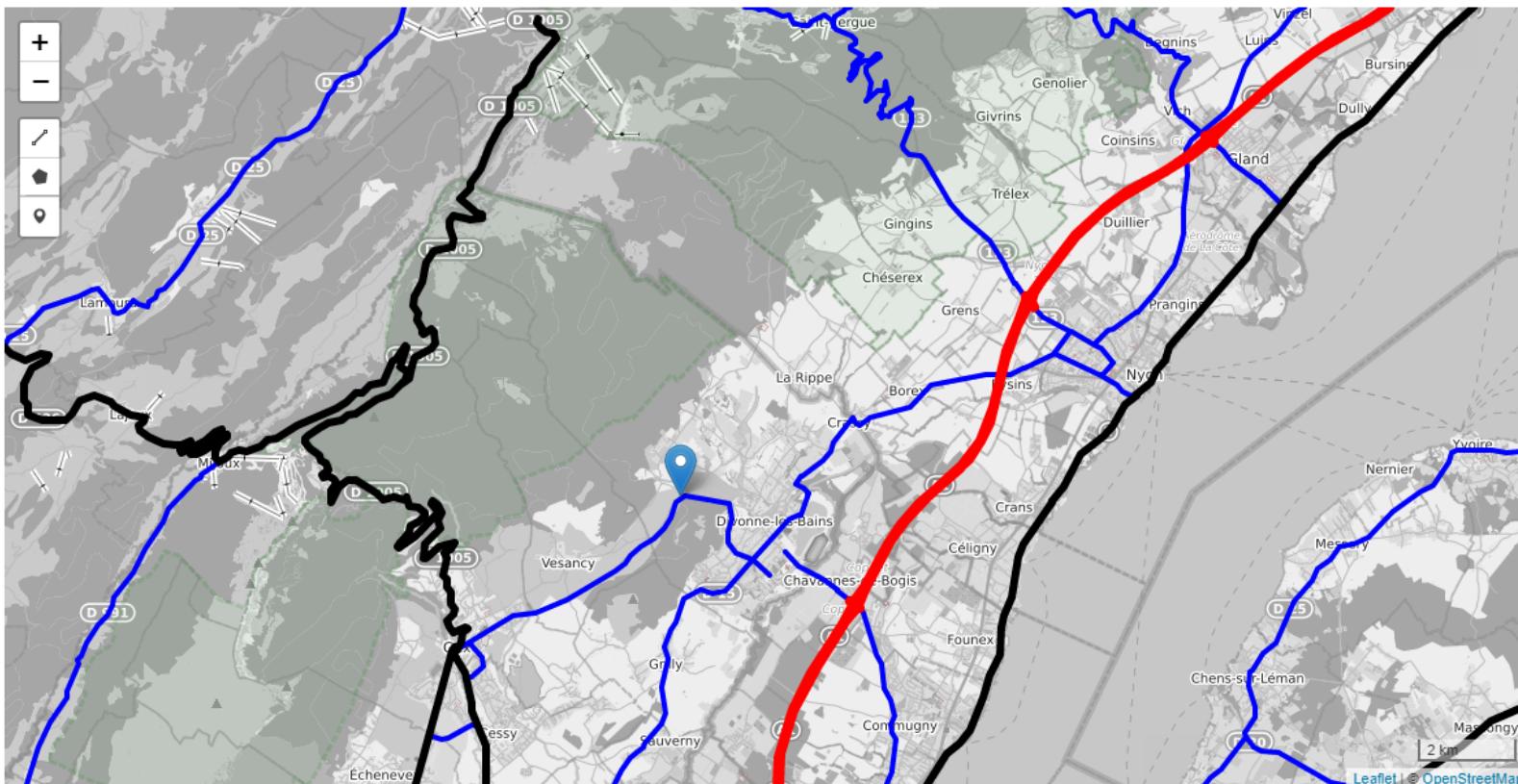
Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés.

## Description

## Réseau routier actuel

## Réseau routier modifié

## Risque de collisions



### Légende:

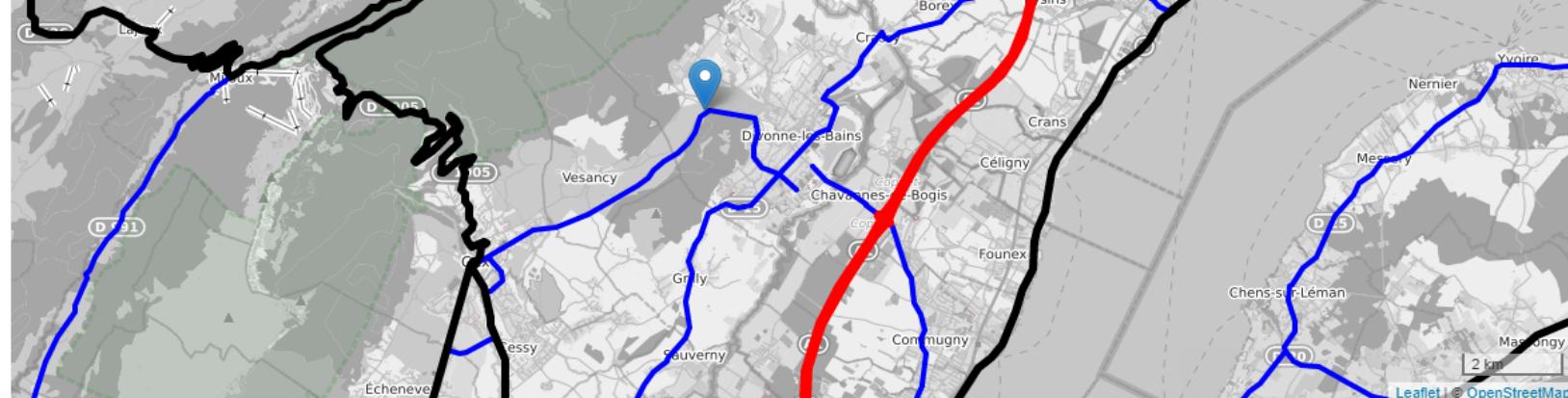
- Autoroutes
  - Routes principales
  - Routes secondaires
  - Routes locales

### Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:

## Mettre à jour la carte

Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés

- Autoroutes
  - Routes principales
  - Routes secondaires
  - Routes locales (nom)
  - Communes



### Sélectionner les éléments à afficher sur la carte:

- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales (nombreuses, lentes à afficher)
- Communes

[Mettre à jour la carte](#)

Afficher/retirer de la carte les éléments sélectionnés/désélectionnés.

### Supprimer le segment sélectionné:

[Supprimer](#)

### Modifier le segment sélectionné:

Sélectionnez le nouveau type de route à attribuer.

Autoroute

Route principale

Route secondaire

Route locale

### Créer un segment:

Validez le segment créé en définissant le type de route.

Autoroute

Route principale

Route secondaire

Route locale

### Créer un passage à faune:

[Passage à faune](#)

### Annuler les modifications:

Supprimez toutes les modifications effectuées sur le réseau routier et revenez à la carte d'origine.

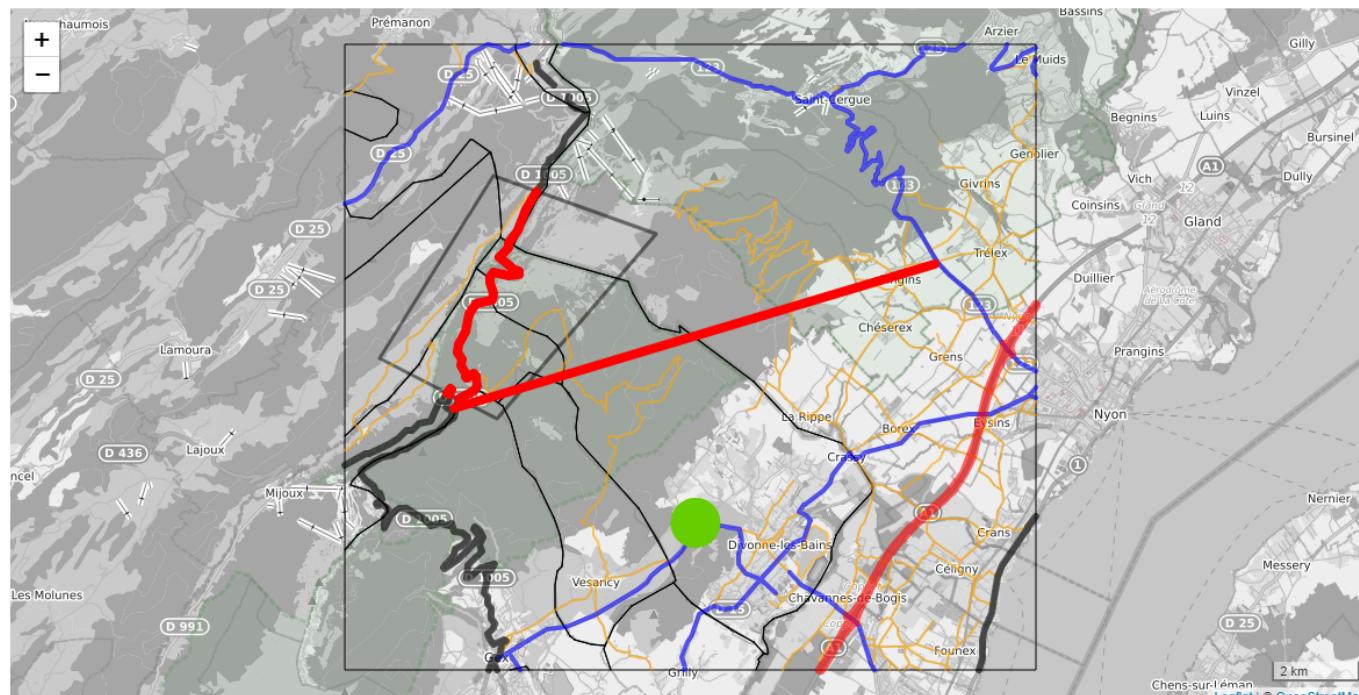
[Annuler](#)

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)

### Visualisez les aménagements routiers qui vont être testés

Seuls l'aire d'étude (rectangle noir) et les segments de routes modifiés (supprimés, modifiés ou créés) ainsi que les passages à faune créés sont affichés sur cette carte. La zone affichée est zoomée sur ces modifications. Aucun élément ne s'affiche si aucune modification n'a été faite dans l'onglet précédent. Cliquez sur le bouton 'Afficher les éléments non modifiés' (sous la carte) pour afficher le reste du réseau routier non modifié et les limites des communes françaises.

La carte demande plusieurs secondes à se mettre à jour et à s'afficher après modifications du réseau routier, merci de patienter.



### Légende:

- Autoroutes
- Routes principales
- Routes secondaires
- Routes locales
- Routes supprimées
- Passages à faune

[Description](#)[Réseau routier actuel](#)[Réseau routier modifié](#)[Risque de collisions](#)

Estimer les probabilités de collisions entre lynx et véhicules

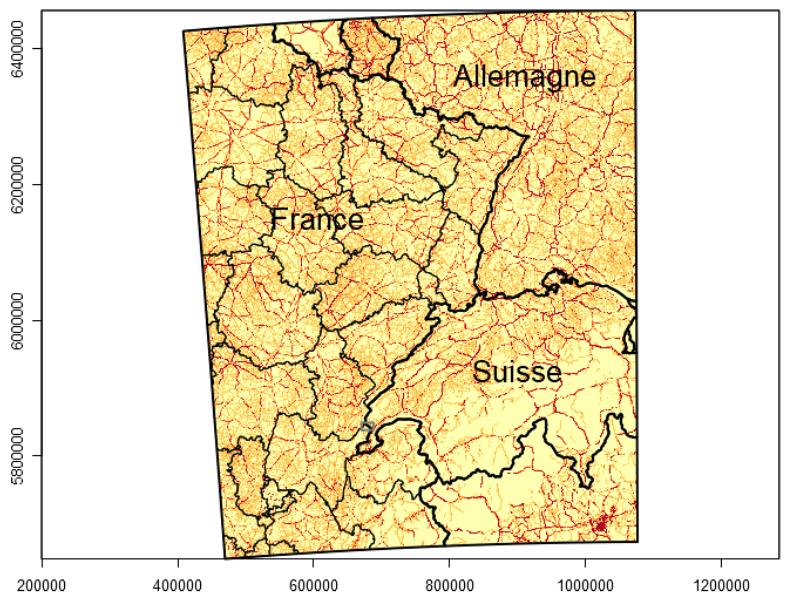
[Créer la nouvelle carte](#)

### Probabilités de collisions lynx-véhicules

Carte obtenue avec le réseau routier n'ayant subit aucune modification.

[Sauvegarder la carte](#)

Vous allez télécharger la carte originale des probabilités de collisions au format image (.png).


[Sauvegarder tous les fichiers](#)

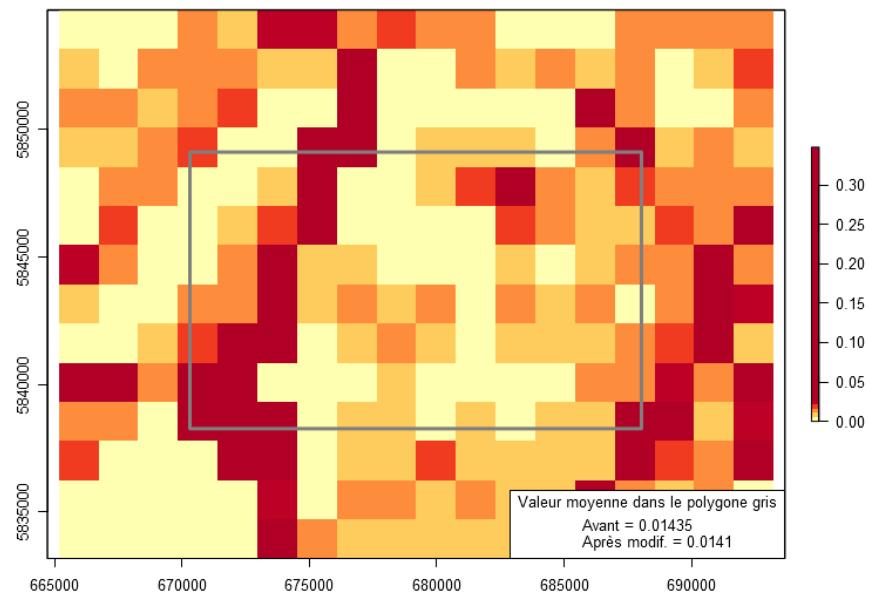
Vous allez télécharger la nouvelle carte complète des probabilités de collisions modifiées au format raster, ainsi que tous les fichiers, originaux et modifiés, nécessaires à l'analyse pour produire les probabilités de collisions, au format vectoriel (.shp) et raster (.tif). Le dossier contenant ces fichiers prend plusieurs secondes à être créé. Merci de patienter et de ne pas cliquer plusieurs fois sur le bouton de sauvegarde.

### Nouvelles probabilités de collisions lynx-véhicules

Carte obtenue en incluant les modifications faites sur le réseau routier visibles dans l'onglet 'Réseau routier modifié'.

[Sauvegarder la carte](#)

Vous allez télécharger la partie zoomée (telle que visible) de la nouvelle carte des probabilités de collisions modifiées au format image (.png).



## Test d'un scénario d'aménagement

Le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' va être exécuté en incluant les modifications effectuées dans les précédents onglets pour tester le scénario d'aménagement souhaité. Le **scénario d'aménagement du réseau routier actuel** définit dans l'onglet 'Collisions lynx-véhicules' ne sera inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' que si les nouvelles probabilités de collisions lynx-véhicules ont été estimées dans l'onglet 'Risque de collisions'. Autrement, les probabilités originelles, estimées sans modification du réseau routier, seront utilisées. Le **scénario d'aménagement du paysage actuel** définit dans l'onglet 'Habitat du lynx' ne sera, lui aussi, inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' que si la nouvelle qualité du paysage et les nouveaux habitats du lynx ont été estimés dans l'onglet 'Qualité d'habitat'. Autrement, les différents habitats du lynx originels, définis sans modification du paysage, seront utilisés. Le **scénario de gestion des populations actuelles du lynx** définit dans l'onglet 'Populations de lynx' sera inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat', dès qu'une modification a été apportée dans l'onglet 'Populations actuelles'. Les **paramètres biologiques et le fonctionnement du modèle** comme présentés dans l'onglet 'Description du modèle' sont quant à eux non modifiables et les valeurs et méthodes présentées dans cet onglet seront celles utilisées.

Le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' va simuler l'évolution des populations de lynx sur 50 ans. Plusieurs réplications (1000 au total) de simulations vont être effectuées pour dégager une tendance générale au niveau des résultats. Les résultats présentés seront une différence de l'évolution des populations de lynx dans l'état actuel (incluant le réseau routier, le paysage et les populations actuels comme présentés sur l'interface avant modifications) avec l'évolution des populations dans le scénario d'aménagement testé (incluant toutes les modifications faites via l'interface).

Lancer le modèle

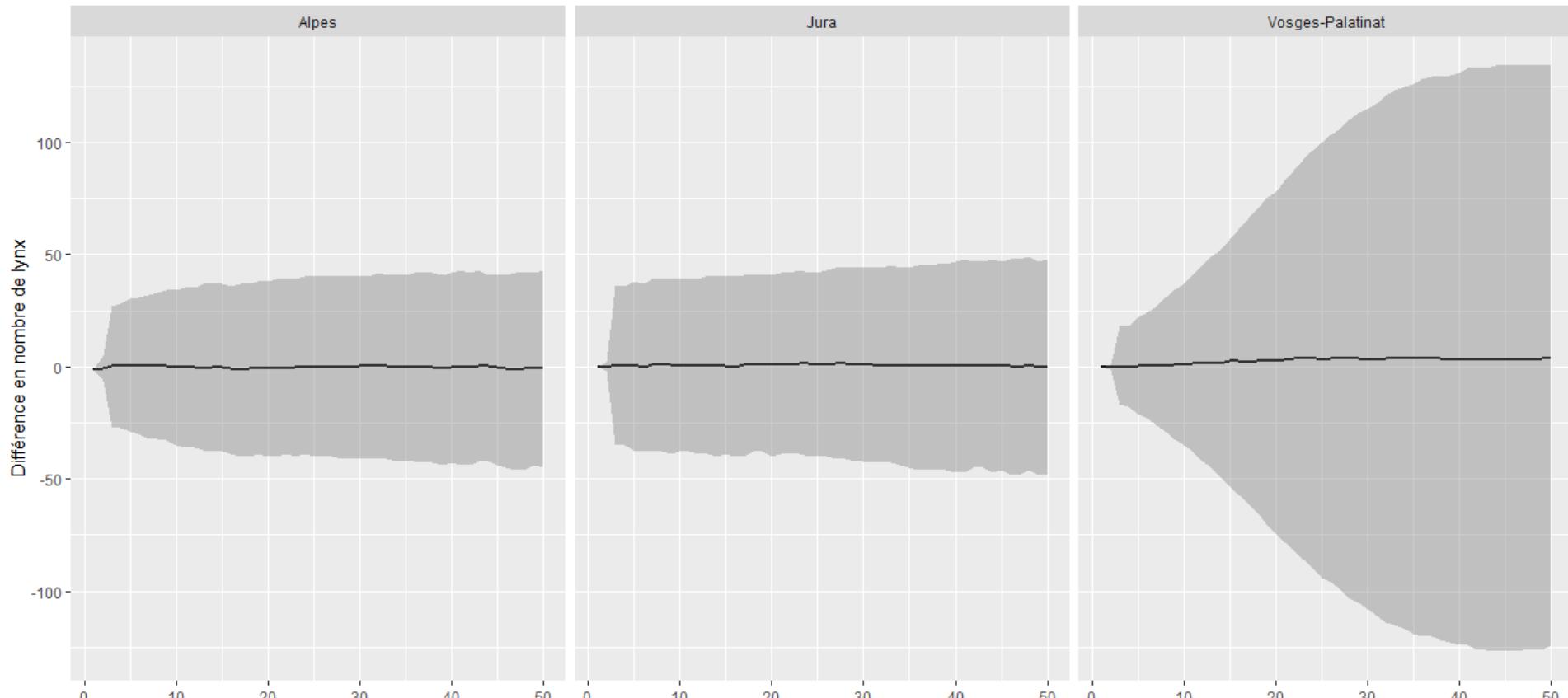
## Test d'un scénario d'aménagement

Le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' va être exécuté en incluant les modifications effectuées dans les précédents onglets pour tester le scénario d'aménagement souhaité. Le **scénario d'aménagement du réseau routier actuel** définit dans l'onglet 'Collisions lynx-véhicules' ne sera inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' que si les nouvelles probabilités de collisions lynx-véhicules ont été estimées dans l'onglet 'Risque de collisions'. Autrement, les probabilités originelles, estimées sans modification du réseau routier, seront utilisées. Le **scénario d'aménagement du paysage actuel** définit dans l'onglet 'Habitat du lynx' ne sera, lui aussi, inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' que si la nouvelle qualité du paysage et les nouveaux habitats du lynx ont été estimés dans l'onglet 'Qualité d'habitat'. Autrement, les différents habitats du lynx originels, définis sans modification du paysage, seront utilisés. Le **scénario de gestion des populations actuelles** du lynx définit dans l'onglet 'Populations de lynx' sera inclus dans le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat', dès qu'une modification a été apportée dans l'onglet 'Populations actuelles'. Les **paramètres biologiques** et le **fonctionnement du modèle** comme présentés dans l'onglet 'Description du modèle' sont quant à eux non modifiables et les valeurs et méthodes présentées dans cet onglet seront celles utilisées.

Le modèle 'Lynx-Collisions-Habitat' va simuler l'évolution des populations de lynx sur 50 ans. Plusieurs réplications (1000 au total) de simulations vont être effectuées pour dégager une tendance générale au niveau des résultats. Les résultats présentés seront une différence de l'évolution des populations de lynx dans l'état actuel (incluant le réseau routier, le paysage et les populations actuels comme présentés sur l'interface avant modifications) avec l'évolution des populations dans le scénario d'aménagement testé (incluant toutes les modifications faites via l'interface).

Lancer le modèle

### Différence d'effectifs entre le scénario et l'état actuel



# Conclusion

- SE-IBM reliable to make predictions
  - Test of different scenarios
- NetLogoR facilitates SE-IBM implementation
- Co-construction improved the model and the interface
- Useful tool to help decision making
- Concept applicable to other species
- Added value of local stakeholder participation
  - Better tool
  - Greater chance of use
  - Engage conversations

22-23 Octobre 2019  
JIEM-Nantes

# Thank you!

**Sarah Bauduin, Anaïs Charbonnel, Luc Chrétien, Nolwenn Drouet-Hoguet,  
Christophe Duchamp, Estelle Germain, Alain Morand,  
and Olivier Gimenez**



CENTRE D'ECOLOGIE  
FONCTIONNELLE  
& EVOLUTIVE

