



Doctoral Thesis

## Altitudinal adaptation in *Arabidopsis thaliana*

**Author(s):**

Quèbre, Nicolas

**Publication Date:**

2012

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007632306> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH N° 20834

**Altitudinal adaptation in *Arabidopsis thaliana***

A dissertation submitted to the  
ETH ZURICH

For the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES

Presented by

**Nicolas Quèbre**  
Master of Science in  
Systematics, Evolution and Paleontology  
Born April 27<sup>th</sup>, 1983  
Citizen of France

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. **Alex Widmer**, examiner  
Associate.Prof.Dr. **Sophie Karrenberg**, co-examiner  
Prof. Dr. **Juliette de Meaux**, co-examiner

2012

## Summary

Local adaptation is a process driven by natural selection through which populations within species diverge in a way that increases their fitness in their respective local habitats. In their own habitat, genotypes from locally adapted populations are thus expected to outperform immigrant genotypes from other habitats. Likewise, local adaptation is one of the processes that may allow local populations to persist when habitat conditions change. However, local adaptation is far from predictable, lack of genetic variation for traits under selection or temporally varying selection pressures, for example, can render local adaptation unlikely. For this reason, it is important to assess the adaptive potential of organisms when predicting reactions to climate change. In this thesis, I use climatic variation along altitude as a proxy for expected climate change and investigate altitudinal adaptation in natural populations of *Arabidopsis thaliana* originating from different altitudes in the Alps.

*Arabidopsis thaliana* is an annual weed distributed across a wide geographical and ecological range and is widely used as a model plant for evolutionary ecology. Natural populations often display winter annual and summer annual cohorts. This life history variation constitutes an additional trait of interest for local adaptation in *A. thaliana* that is rarely taken into account in studies of local adaptation.

First, we investigated the performance of natural populations originating from different altitudes in the Swiss Alps (800–2700m a.s.l.) in seven transplant gardens at altitudes from 600 to 2400m a.s.l.. To do so we undertook reciprocal transplant experiments with young plants at the rosette stage in two seasonal contexts: one simulating a winter annual life-history with transplantation in autumn, and one mimicking a summer annual life-history with transplantation in spring. We found evidence of adaptation to altitude in the winter annual cohort only. In the summer annual cohort, environmental effects were the major determinants of plant fitness.

Second, to assess which life histories are expressed by genotypes originating from different altitudes and to investigate whether individual genotypes can express multiple life histories, we established four experimental populations (each consisting of a single genotype) per population of origin in both spring and in autumn using sowing experiments. Experimental populations were allowed to develop freely at the transplant

sites (600–2400m a.s.l.). We observed that only a summer annual life history with spring germination led to viable *A. thaliana* populations in all conditions of our experiments. Nonetheless, individual genotypes exhibited germination bouts also in summer and in autumn indicating that the expression of alternative life histories is possible. Thus, our study suggests that life history expression in *A. thaliana* population from the Alps is controlled by environmental conditions rather than by genetic differentiation.

In a third experiment, a segregating F<sub>2</sub> population of an intercross between Columbia (Col-0, 100-200m a.s.l.) and a wild genotype of *A. thaliana* from high altitude (E011, 2012m a.s.l.) was grown in a climate chamber to analyse the genetic architecture of ecologically important leaf traits with a quantitative trait locus (QTL) analysis. Composite interval mapping detected ten leaf trait QTLs, and chromosome 4 contained at least one QTL for each of the traits investigated. Overall, the percentages of variance explained by individual QTLs were low but possible interactions with undetected QTLs of low LOD were observed. QTLs with effects in opposite directions were detected for leaf circularity and specific leaf area. Leaf traits for the same F<sub>2</sub> intercross planted in high and low altitudes sites revealed substantial morphological differences in leaf traits between field and climate chamber experiments.

This thesis contributes to our understanding of phenotypic variation across altitude in natural *A. thaliana* populations. With evidence for local adaptation to altitude in winter annual cohorts and the contribution of plants with a summer annual life-history to population dynamics we establish the importance of considering life history variation in studies of local adaptation. This thesis shows that multiple approaches combining field reciprocal transplant experiments with seedlings, experimental populations that evolve freely for several years, and genetic studies of the architecture of quantitative traits together contribute to our knowledge in evolutionary ecology.

## Résumé

L'adaptation locale est un processus conduit par la sélection naturelle par lequel les populations d'une même espèce diffèrent d'une manière qui accroît leur fitness dans leurs habitats respectifs. Dans leur habitat naturel, les génotypes des populations localement adaptées devraient donc avoir une meilleure fitness que des génotypes immigrants provenant d'autres habitats. Ainsi, l'adaptation locale est l'un des processus qui peut permettre aux populations locales de persister lorsque les conditions de l'habitat changent. Cependant, l'adaptation locale est loin d'être prévisible, un manque de variation génétique pour les caractères soumis à la sélection ou des pressions de sélection temporellement variable peuvent, par exemple, rendre l'adaptation locale improbable. Pour cette raison, il est important d'évaluer le potentiel d'adaptation des organismes lorsqu'il s'agit de prédire les réactions au changement climatique. Dans cette thèse, j'utilise les variations climatiques ainsi que l'altitude comme indicateurs de changement climatique et je recherche des signes d'adaptation à l'altitude dans des populations naturelles d'*Arabidopsis thaliana* provenant de différentes altitudes dans les Alpes.

*Arabidopsis thaliana* est une petite plante annuelle répartie sur une vaste étendue géographique et écologique, elle est largement utilisée comme modèle en l'écologie évolutive. Ses populations naturelles expriment souvent différentes histoires de vie en annuelles d'hiver et d'été. Cette variation d'histoire de vie constitue un trait supplémentaire d'intérêt pour l'adaptation locale chez *A. thaliana* car il est rarement pris en compte dans les études d'adaptation locale.

Tout d'abord, nous avons étudié la performance des populations naturelles provenant de différentes altitudes dans les Alpes Suisses (800-2700m d'altitude) dans sept sites expérimentaux de 600 à 2400m d'altitude. Pour ce faire, nous avons entrepris des transplantations réciproques avec de jeunes plantes au stade de rosette dans deux contextes saisonniers: un simulant une histoire de vie d'annuelle d'hiver, à l'automne, et l'autre imitant une histoire de vie d'annuelle d'été avec transplantation au printemps. Nous avons trouvé uniquement des preuves d'adaptation à l'altitude dans la cohorte d'hiver. Dans la cohorte d'été, les effets environnementaux ont été les principaux déterminants de la fitness des plantes.

Deuxièmement, afin de déterminer quelles histoires de vie sont exprimés par des génotypes provenant de différentes altitudes et de déterminer si les génotypes individuels peuvent exprimer de multiples histoires de vie, nous avons établi quatre populations expérimentales (chacune composée d'un seul génotype) par population d'origine, en utilisant des graines semées au printemps et en automne. Les populations expérimentales ont été autorisées à se développer librement à chaque site (600-2400m d'altitude). Nous avons observé que seulement une histoire de vie d'été, avec germination au printemps, conduit à des populations viables dans toutes les conditions de nos expériences. Néanmoins, les génotypes individuels ont également germés en été et en automne, indiquant que l'expression d'histoires de vie alternatives est possible. Ainsi, notre étude suggère que l'expression histoire de vie des populations d'*A. thaliana* des Alpes est contrôlé par les conditions environnementales plutôt que par une différenciation génétique.

Dans une troisième expérience, une population  $F_2$  issue d'un croisement entre Columbia (Col-0, 100-200m d'altitude) et un génotype sauvage de *A. thaliana* de haute altitude (E011, 2012m d'altitude) a été cultivé en chambre climatique afin d'analyser l'architecture génétique quantitative de traits foliaires d'importance écologique (analyse QTL). Notre analyse cartographique a détecté dix QTLs, le chromosome 4 contenant au moins un QTL pour chacun des traits étudiés. Dans l'ensemble, les pourcentages de variance expliquée par chaque QTL étaient faibles, mais des interactions possibles avec d'autres QTLs de faible résolution été observées. Les QTLs détectés pour la circularité des feuilles et la surface foliaire spécifique avaient des directions opposées. Le même croisement planté à différentes altitudes a révélé d'importantes différences morphologiques de feuilles entre le terrain et les expériences en chambre climatique.

Cette thèse contribue à notre compréhension de la variation phénotypique altitudinale dans les populations naturelles d' *A. thaliana*. Des preuves d'adaptation locale à l'altitude dans les cohortes d'hiver et la contribution des cohortes d'été pour la dynamique des populations nous ont permis de révéler l'importance de considérer les variations d'histoire de vie dans les études d'adaptation locale. Cette thèse montre que les approches multiples alliant expériences sur le terrain de transplantations réciproques, de populations expérimentales qui évoluent librement pendant plusieurs années, et les études génétiques de l'architecture de caractères quantitatifs contribuent à notre connaissance en écologie évolutive.